

**UMMESSAOLOKAUDEN KARKEAREHURUOKINNAN
VAIKUTUS LYPSELEHMIEN RASVA- JA
VALKUAISVARASTOJEN KÄYTTÖÖN**

Heli Toivonen
Maisterin tutkielma
Kotieläinten ravitsemustiede
Maataloustieteiden osasto
Helsingin yliopisto
Huhtikuu 2019



Tiedekunta/Osasto — Fakultet/Sektion — Faculty Maatalous-metsätieteellinen tiedekunta		Laitos — Institution — Department Maataloustieteiden osasto	
Tekijä — Författare — Author Heli Toivonen			
Työn nimi — Arbetets titel — Title Ummessaolokauden karkearehuruokinnan vaikutus lypsylehmien rasva- ja valkuaisvarastojen käyttöön			
Oppiaine — Läroämne — Subject Kotieläinten ravitsemustiede			
Työn laji — Arbetets art — Level Maisterin tutkielma		Aika — Datum — Month and year Huhtikuu 2019	Sivumäärä — Sidoantal — Number of pages 49 s.
Tiivistelmä — Referat — Abstract <p>Tiineyden loppuvaiheessa ja laktaatiokauden alussa lypsylehmä käy läpi suuria aineenvaihdunnallisia muutoksia. Lehmän rehun syönti ei suurene riittävän nopeasti maidontuotannon alkaessa ja seurauksena on riittämättömästä energiansaannista johtuva negatiivinen energiatase. Negatiivisen energiataseen takia lehmä joutuu mobilisoimaan rasva- ja valkuaisvarastojaan saadakseen lisää energiaa. Rasvakudosten mobilisointi vapauttaa plasmaan vapaita rasvahappoja (NEFA), joiden pitoisuutta mittaamalla voidaan arvioida lehmien energiatasetta.</p> <p>Plasman NEFA-pitoisuuden liiallinen suureneminen poikimisen aikaan voi johtaa terveysongelmiin, kuten rasvamaksaan ja ketoosiin, jotka voivat aiheuttaa myös taloudellisia menetyksiä. Liiallinen energiansaanti ummessaolokaudella voi pienentää kuiva-aineen syöntiä poikimisen aikaan ja lisätä rasvakudosten mobilisaatiota. Laktaatiokauden alussa märehitjölle on tyypillistä voimistunut insuliiniresistenssi rasvakudoksissa ja lihaksissa, mikä edistää vapaiden rasvahappojen ja aminohappojen mobilisaatiota. Insuliiniresistenssissä haiman tuottaman insuliinin vaikutus on heikentynyt, jolloin insuliinista riippuvaiset kudokset eivät saa riittävästi glukoosia ja lipolyysi lisääntyy. Veren NEFA-pitoisuuden suurentamisen on osoitettu kokeellisesti voimistavan insuliiniresistenssiä ummessaolevilla lypsylehmillä. Ravitsemuksellisilla tekijöillä, kuten rehun kuitupitoisuutta lisäämällä, voidaan pienentää NEFA-pitoisuuden suurenemista ennen poikimista.</p> <p>Tämän tutkimuksen tavoitteena oli selvittää ummessaolokauden karkearehun energiapitoisuuden vaikutusta lypsylehmien rasva- ja valkuaisainevarastojen käyttöön. Tutkimuksessa oli mukana 16 vähintään toista kertaa poikivaa ayrshire-lehmää, jotka jaettiin pareihin kuntoluokan ja odotetun poikimapäivän perusteella. Koe suoritettiin täydellisesti satunnaistettuna lohkokokeena, jossa toisen ryhmän lehmät saivat ummessaolokaudella vapaasti säilörehua ja toisen ryhmän lehmät kuitupitoista seosrehua. Poikimisen jälkeen kummankin ryhmän lehmät saivat samaa säilörehua vapaasti ja väkirehuannosta nostettiin asteittain. Tutkimuksen aikana (8vk ennen poikimista – 8 vk poikimisen jälkeen) lehmiä punnittiin, kuntoluokitettiin, niiltä otettiin verinäytteitä, mitattiin selkälihaksen paksuutta ja niille tehtiin glukosirasituskoe ennen poikimista ja poikimisen jälkeen. Verinäytteistä määritettiin glukosii-, insuliini-, BHBA- eli β-hydroksivoihappo-, NEFA- ja 3-MH- eli 3-metyylihistidiinipitoisuudet.</p> <p>Tulosten perusteella ummessaolokauden ruokinnan muuttaminen kuitupitoisemmaksi ja energiaköyhemmäksi ei vaikuttanut suuresti plasman parametreihin eikä lehmien kuntoluokkaan. Ummessaolokauden vapaa säilörehuruokinta ei lisännyt rasvavarastojen mobilisaatiota poikimisen jälkeen, kun säilörehu oli sulavuudeltaan enintään keskinkertaista. Tässä tutkimuksessa suurempi energiansaanti näkyi suuremmassa elopainon suurenemisessa, muttei kuntoluokan muutoksessa ennen poikimista.</p> <p>Plasman insuliinipitoisuus ennen poikimista oli suurempi paljon energiaa saaneilla lehmillä, mikä on havaittu aikaisemmissakin tutkimuksissa. Runsaammin energiaa saaneet lehmät saattavat tämän kokeen tulosten perusteella kompensoida kudostensa insuliiniherkkyyden vähenemistä insuliinin eritystä lisäämällä. Rehun kuitupitoisuuden lisääminen esimerkiksi tekemällä seosrehua säilörehusta ja oljesta vaikuttaa olevan toimiva vaihtoehto pienentää ummessaolevan lehmän energiansaantia liian lihomisen välttämiseksi.</p>			
Avainsanat — Nyckelord — Keywords lypsylehmä, karkearehu, ummessaolokausi, NEFA-pitoisuus, insuliiniresistenssi			
Säilytyspaikka — Förvaringsställe — Where deposited Maataloustieteiden osasto			
Muita tietoja — Övriga uppgifter — Further information Työn ohjaaja: yliopistonlehtori Tuomo Kokkonen			



Tiedekunta/Osasto — Fakultet/Sektion — Faculty Faculty of Agriculture and Forestry		Laitos — Institution — Department Department of Agricultural Sciences	
Tekijä — Författare — Author Heli Toivonen			
Työn nimi — Arbetets titel — Title The effect of the forage feeding during the dry period on the utilization of fat and protein tissue stores in dairy cows			
Oppiaine — Läroämne — Subject Animal Nutrition			
Työn laji — Arbetets art — Level Master's Thesis		Aika — Datum — Month and year April 2019	Sivumäärä — Sidoantal — Number of pages 49 p.
Tiivistelmä — Referat — Abstract <p>Dairy cow goes through major metabolic changes in the late gestation and in the beginning of lactation. As lactation begins the dry matter intake doesn't increase fast enough resulting in negative energy balance due to inadequate supply of energy. Because of the negative energy balance the cow has to mobilize her fat and protein stores to get more energy. Non-esterified fatty acids (NEFA) are released to the plasma as the fat tissues are mobilized. The energy balance of a cow can be evaluated by measuring the NEFA concentration in plasma.</p> <p>Too high increase in the NEFA concentration of the plasma in the periparturient period may result in health problems such as fatty liver or ketosis which may also cause financial losses. High energy intake during dry period may decrease dry matter intake in the periparturient period and increase the mobilization of the adipose tissues. It is typical for a ruminant to have a more intense insulin resistance of the adipose and muscle tissues in the beginning of lactation. This promotes the mobilization of NEFA and amino acids. As a result of increased insulin resistance in the peripheral tissues, the effect of pancreatic insulin is decreased and glucose uptake in the insulin dependent tissues is diminished and the lipolysis increases. It has been experimentally proved that the increase in the plasma NEFA concentration intensifies the insulin resistance in dry period cows. Nutritional factors, such as increasing the fiber concentration of the forage, can be used to decrease the increase of plasma NEFA concentration before parturition.</p> <p>The objective of this study was to determine the effect of energy content of the forage during dry period on the use of fat and protein stores in dairy cows. There were 16 multiparous Ayrshire cows in the study and they were divided into pairs according to body condition score (BCS) and expected parturition date. The study was performed using a randomized complete block design where one group of cows received silage ad libitum and the other group of cows received total mixed ration (TMR) with high fiber content ad libitum. After parturition both groups received the same silage ad libitum and the amount of concentrates was progressively increased. During the study (from 8 weeks before parturition to 8 weeks after parturition) the cows were weighed, BCS was evaluated, blood samples were taken, back muscle thickness was measured and glucose tolerance tests (GTT) were performed before and after parturition. Glucose, insulin, BHBA (β-hydroxybutyric acid), NEFA and 3-MH (3-methylhistidine) concentrations were analyzed from the blood samples.</p> <p>According to the results increasing the fiber content and decreasing the energy content of the forage in dry period didn't have a major effect on plasma parameters or the BCS of the cows. Ad libitum feeding of the silage during dry period didn't increase the mobilization of fat stores after parturition when the digestibility of the silage was moderate at the most. The higher energy intake was accompanied by the larger increase of body weight but not by the change of BCS before parturition.</p> <p>Plasma insulin concentration before parturition was higher when the cows received more energy which is in line with previous studies. According to this study, the cows that received more energy may compensate the loss of insulin sensitivity in the tissues by increasing the insulin secretion. Increasing the fiber content of the forage by adding straw to TMR, for example, seems to work to decrease the energy intake of the dry cows to avoid excessive overweight.</p>			
Avainsanat — Nyckelord — Keywords dairy cow, roughage, dry period, NEFA concentration, insulin resistance			
Säilytyspaikka — Förvaringsställe — Where deposited Department of Agricultural Sciences			
Muita tietoja — Övriga uppgifter — Further information Supervisor: University Lecturer Tuomo Kokkonen			

SISÄLLYS

LYHENTEET	5
1 JOHDANTO.....	6
1.1 Energiansaanti.....	6
1.2 Tiineen lehmän metabolia.....	7
1.3 Terveys ja hedelmällisyys	10
2 TUTKIMUKSEN TAVOITTEET.....	11
3 AINEISTO JA MENETELMÄT	11
4 TULOKSET	16
4.1 Energiansaanti.....	16
4.2 Selkälihaksen paksuus ja plasman 3-MH-pitoisuus.....	17
4.3 Häntäsuoniverinäytteet.....	18
4.3.1 Plasman glukoosipitoisuus.....	18
4.3.2 Plasman insuliinipitoisuus	20
4.3.3 Plasman NEFA-pitoisuus	21
4.3.4 Plasman BHBA-pitoisuus.....	22
4.4 Glukoosirasituskokeet.....	23
4.4.1 Plasman glukoosipitoisuus glukoosirasituskokeissa	23
4.4.2 Plasman insuliinipitoisuus glukoosirasituskokeissa.....	26
4.4.3 Plasman NEFA-pitoisuus glukoosirasituskokeissa	30
4.4.4 Minimal Model -määritykset glukoosirasituskokeissa.....	32
5 TULOSTEN TARKASTELU	33
5.1 Energiansaanti.....	33
5.2 Selkälihaksen paksuus ja plasman 3-MH-pitoisuus.....	34
5.3 Häntäsuoniverinäytteet.....	35
5.3.1 Plasman glukoosipitoisuus.....	35
5.3.2 Plasman insuliinipitoisuus	37
5.3.3 Plasman NEFA-pitoisuus	38
5.3.4 Plasman BHBA-pitoisuus.....	40
5.4 Glukoosirasituskokeet.....	41
6 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET	43
LÄHTEET	45

Lyhenteet

AIR _G	acute insulin response, ensivaiheen insuliinivaste
AUC	area under curve, käyrän alainen pinta-ala pitoisuus-aika-kuvaajassa
BHBA	β-hydroxybutyric acid, β-hydroksivoihappo
CR	clearance rate, poistumisnopeus
D-arvo	sulavan orgaanisen aineen osuus kuiva-aineessa
DI	disposition index, haiman beetasolujen toiminnallisuutta kuvaava indeksi
ka	kuiva-aine
n	havaintoyksiköiden lukumäärä
NDF	neutral detergent fiber, neutraalidetergenttikuitu
NEFA	non-esterified fatty acids, vapaat rasvahapot
P-arvo	tilastollinen merkitsevyys
SEM	standard error of the mean, keskiarvon keskivirhe
S _G	glukoosin herkkyysindeksi
S _I	insuliinin herkkyysindeksi
T _{1/2}	puoliintumisaika
VLDL	very low density lipoprotein, tiheydeltään erittäin pieni lipoproteiini, joka kuljettaa maksassa syntetisoituja triglyseridejä muihin kudoksiin
3-MH	3-metyylihistidiini

1 JOHDANTO

1.1 Energiansaanti

Tiineyden loppuvaiheessa ja maidontuotannon eli laktaation alkaessa lypsylehmä joutuu käymään läpi suuria aineenvaihdunnallisia muutoksia. Lehmien kuiva-aineen syönti pienenee kolmen viimeisen tiineysviikon aikana ja on pienintä viimeisellä viikolla ennen poikimista (Grummer 1995, Hayirli ym. 2002). Alkulaktaatiossa syönti ei suurene riittävän nopeasti alkaneeseen laktaatioon nähden ja lehmät ovat negatiivisessa energiataseessa (Hayirli 2006). Energiatase on päivittäisen energiansaannin ja energian kulutuksen erotus, ja negatiivinen energiatase tarkoittaa kulutuksen olevan ravinnosta saatavan energian määrää suurempi. Tällöin lehmä joutuu mobilisoimaan rasva- ja valkuaisvarastojaan kudoksistaan saadakseen riittävästi energiaa (Ingvarsen ja Andersen 2000, Kokkonen ym. 2005). Negatiivisen energiataseen suuruus vaihtelee suuresti yksilöittäin ja siihen vaikuttavat sekä perinnölliset että ympäristöön liittyvät tekijät (Kokkonen ym. 2010).

Liiallinen energiansaanti ummessaolokaudella voi johtaa kuiva-aineen syönnin ja energiansaannin pienenemiseen poikimisen lähellä ja laktaatiokauden alussa (Kunz ym. 1985, Rukkwamsuk ym. 1999a, Ingvarsen ja Andersen 2000, Hayirli ym. 2002) ja lisätä terveysongelmia sekä vähentää maitotuotosta (Rukkwamsuk ym. 1999a). Liikaa energiaa ummessaolokaudella saaneet lehmät voivat mobilisoida enemmän rasvakudoksiaan ja poikimisen jälkeinen negatiivinen energiatase saattaa pitkittyä (Rukkwamsuk ym. 1999b, Holtenius ym. 2003). Rajoittamalla korkeaenergisien dieetin syöntiä ennen poikimista lehmien energiatase pysyy vakaampana heti poikimisen jälkeen kuin vapaasti ruokituilla lehmillä, joilla energiatase muuttuu negatiivisemmaksi ja positiivisen energiataseen saavuttamisessa kestää kauemmin (Kunz ym. 1985, Janovick ja Drackley 2010). VandeHaar ym. (1999) ja Rabelo ym. (2005) eivät havainneet poikimista edeltäneen energiansaannin vaikuttavan poikimisen jälkeiseen energiataseeseen.

Kuiva-aineen syönnin ja energiansaannin rajoittaminen ennen poikimista voi parantaa lehmän kuiva-aineen syöntiä (Kunz ym. 1985, Douglas ym. 2006) sekä terveyttä ja maksan toimintaa poikimisen jälkeen (Rukkwamsuk ym. 1998, Rukkwamsuk ym. 1999c, Douglas ym. 2006). Maksan glukoneogeneesin tehostuessa rasvakudosten mobilisaatio vähenee, jolloin plasman vapaiden rasvahappojen eli NEFA:n pitoisuus pienenee ja triglyseridejä kertyy vähemmän maksaan (Drackley ym. 2005, Douglas ym. 2006). Ummessaolokaudella rajoitetusti ruokittujen lehmien kuiva-aineen syönnin on havaittu joissakin tutkimuksissa suurenevan nopeammin poikimisen jälkeen kuin vapaasti ruokittujen (Kunz ym. 1985, Holcomb ym. 2001), mutta Janovickin ja Drackleyn (2010) tutkimuksessa vastaavaa eroa ei ole ollut.

Liiallista energiansaantia voidaan pienentää rajoittamalla ummessaolokauden rehumäärää tai muokkaamalla lehmille annettavan rehun koostumusta. Vehnän oljen käyttö seosrehussa lisää kuitupitoisuutta ja pienentää seosrehusta saatavaa energiaa (Dann ym. 2006) sekä parantaa lehmien terveyttä poikimisen läheisyydessä (Beever 2006). Useissa tutkimuksissa on käytetty vehnän olkea dieetin NDF-pitoisuuden suurentamiseksi, jotta kuiva-aineen syönnin vähenemistä ennen poikimista saadaan ehkäistyä (Beever 2006, Dann ym. 2006, Janovick ja Drackley 2010).

1.2 Tiineen lehmän metabolia

Lehmät kasvattavat kudosvarastojaan loppulypsykaudella ja ummessaolokaudella valmistautuen seuraavaan poikimiseen (Kokkonen ym. 2010). Ruumiin rasvavarastojen muutos on sekä geneettisesti määräytyvää että ympäristötekijöiden aiheuttamaa. Sekä rasvavarastojen mobilisaatio alkulaktaatiossa että sitä seuraava rasvavarastojen kertyminen tiineyden aikana ovat geneettisesti ohjattuja ja rasvavarastojen käyttö on siten luonnollinen osa lisääntymiskiertoa. Geneettisen taipumuksen takia lehmät vaikuttavat pyrkivän palauttamaan tietynsuuruiset rasvavarastot laktaation keski- ja loppuvaiheessa sekä seuraavan ummessaolokauden aikana. Näissä vaiheissa tapahtuva ylikuormitus aiheuttaa helposti liiallista lihomista, mistä voi seurata ongelmia seuraavan laktaatiokauden alussa (Friggens ym. 2004).

Kuntoluokittamalla voidaan arvioida silmämääräisesti ihonalaisen rasvakudoksen määrää ja kuntoluokan muutoksen avulla voidaan seurata tilatasolla lehmän energiatasetta pitkällä aikavälillä. Kuntoluokitusta käytetään yleisesti lehmän kunnon ja ruokinnan onnistumisen arviointiin. Säännöllisesti tehtynä kuntoluokituksen avulla voidaan arvioida joko yksittäisessä eläimessä tai koko karjassa tapahtuvia muutoksia (Kokkonen ym. 2010). Toinen hyvä mittari lehmän energiataseen arvioinnissa on plasman NEFA-pitoisuus. Negatiivisesta energiataseesta johtuen plasman NEFA-pitoisuus suurenee, kun rasvakudokseen varastoitua rasvaa mobilisoidaan (Bertics ym. 1992, Holcomb ym. 2001, Kokkonen ym. 2005, Beever 2006). Rasvahappojen lisäksi lehmät mobilisoivat kudoksistaan myös aminohappoja, vaikka valkuaisvarastot ovat rasvavarastoihin verrattuna pieniä (Kokkonen ym. 2010).

Tiineyden loppuvaiheessa lehmän glukoosin ja aminohappojen tarve kasvaa noin 30 – 50 % ja sitä kompensoidaan lisäämällä syöntiä ja mukauttamalla emän metaboliaa. Metabolisia muutoksia ovat muun muassa maksan glukoneogeneesin lisääntyminen, glukoosinkäytön väheneminen perifeerisissä kudoksissa, rasvahappojen lisääntynyt mobilisaatio rasvakudoksesta ja mahdollisesti aminohappojen mobilisaation lisääntyminen lihaksista (Bell 1995). Glukoosi on sikiön kasvun ja maidon synteessin kannalta tärkein ravintoaine (Bell ja Bauman 1997). Tiineen eläimen sikiön kasvuun ja metaboliaan käytetään pääasiassa glukoosia ja aminohappoja, joista glukoosin sikiö saa suoraan glukoosina tai laktaattina emän verenkierrosta. Sikiö ei voi hyödyntää suoraan emän kudoksista peräisin olevia rasvahappoja, vaan rasvojen mobilisaation suureneminen säästää emän glukoosia ja aminohappoja sikiön käyttöön (Bell 1995). Märehtijöillä rehusta saatava glukoosi käytetään pötsin mikrobifermentaatiossa, joten maksassa ja jossain määrin myös munuaisissa tapahtuva glukoneogeneesi on tärkeää kudosten glukoositarpeiden täyttämiseksi. Märehtijän tarvitseman glukoosin määrä riippuu mm. tiineyden vaiheesta, sikiöiden määrästä ja maitotuotoksesta (Bell ja Bauman 1997). Korkeatuottoinen lehmä tarvitsee glukoosia yli 2,5 kertaa enemmän kuin tiine lehmä lopputiineydessä (Bell 1995, Drackley ym. 2001) ja muutama päivä poikimisen jälkeen aminohappojen tarve on kaksinkertainen ja rasvahappojen tarve 4,5-kertainen verrattuna tiineen lehmän kohdun tarpeisiin lopputiineydessä (Bell 1995). Poikimisen jälkeen maksan glukoneogeneesin ja rasvakudoksen mobilisaation nopeus kiihtyvät.

Aminohappometaboliassa maksan proteiinisynteesi lisääntyy, aminohappojen katabolia voi vähentyä ja perifeerinen aminohappojen mobilisaatio lisääntyy (Bell 1995).

Märehtijöille on laktaatiokauden alussa tyypillistä voimistunut insuliiniresistenssi rasvakudoksissa ja lihaksissa, mikä edistää vapaiden rasvahappojen ja aminohappojen mobilisaatiota ja säästää glukoosia maitorauhasen käyttöön (Bell 1995, Bell ja Bauman 1997). Insuliini on anabolinen eli rakentava hormoni, joka pyrkii varastoimaan ravintoaineita ja säätelee tehokkaasti syöntiä (Hayirli 2006). Insuliiniresistenssissä haiman tuottaman insuliinin teho on heikentynyt, jolloin insuliinista riippuvaiset kudokset eivät saa riittävästi glukoosia ja lipolyysi lisääntyy. Insuliiniresistenssissä insuliinista riippuvaiset kudokset tarvitsevat enemmän insuliinia, jotta vaste tapahtuu. Jos insuliinipitoisuus ei ole riittävän suuri tarpeeseen nähden, kehittyy hyperglykemia (Pittas ym. 2004). Insuliiniresistenssin alussa plasman glukoosipitoisuus suurenee, rasvakudosten lipolyysi lisääntyy ja siten myös NEFA-pitoisuus suurenee (Pires ym. 2007). Insuliiniresistenssi johtuu osittain suurentuneesta kasvuhormonipitoisuudesta (Bell ja Bauman 1997). Kasvuhormonipitoisuus on suurempi laktaatiossa kuin ummessaolokaudella (Kunz ym. 1985). Insuliiniresistenssin kehittymiseen liittyy myös suurentunut veren NEFA-pitoisuus, mikä lisää rasvan kertymistä maksaan ja lihaksiin (Boden 2011). Rasvan kertyminen kudoksiin ja suurentunut veren NEFA-pitoisuus inhiboivat insuliinin stimuloimaa glukoosin ottoa soluissa ja siten edistävät insuliiniresistenssin kehittymistä (Pires ym. 2007, Boden 2011). Kokeellisesti on osoitettu, että plasman NEFA-pitoisuuden lisääminen (infusoimalla rasvahappoja juoksutusmahaan) voimistaa insuliiniresistenssiä ummessaolevilla lypsylehmillä. Suurentunut NEFA-pitoisuus vaikuttaisi myös heikentävän haiman kykyä erittää insuliinia (Salin ym. 2012b).

Plasman insuliinipitoisuuden pieneneminen ja kudosten insuliiniresistenssin voimistuminen poikimisen läheisyydessä lisää rasvan ja valkuaisen mobilisaatiota kudoksista. Myös kasvuhormonin suuri pitoisuus veressä poikimisen aikaan ja laktaation alussa edistää kudostabilisaatiota (Kokkonen ym. 2010). Pitkään jatkunut liian suuri energiansaanti tai suuri väkirehun osuus ennen poikimista vaikuttaa altistavan lehmät liiallisen lihomisen kautta suuremmalle insuliiniresistenssille poikimisen jälkeen.

(Holtenius ym. 2003). Korkeatuottoisiksi jalostetuilla lehmillä on voimakkaampi insuliiniresistenssi kuin vähemmän maitoa tuottavilla lehmillä (Chagas ym. 2009). Rasvavarastojen mobilisaatio on voimakkaampaa lihavilla lehmillä, joten niiden veren NEFA-pitoisuus on myös suurempi kuin laihemmilla lehmillä jo poikimista edeltävällä viikolla (Kokkonen ym. 2005).

Poikimisen aikaan plasman NEFA-pitoisuus suurenee (Kunz ym. 1985, Grummer 1993, VandeHaar ym. 1999, Rabelo ym. 2005). Plasman NEFA-pitoisuus pienenee nopeasti poikimisen jälkeen, mutta se pysyy korkeammalla kuin ennen poikimista (Kunz ym. 1985, Grummer 1995, VandeHaar ym. 1999). Ravitsemuksellisilla tekijöillä voidaan vähentää plasman NEFA-pitoisuuden suurenemista ennen poikimista (Grummer 1993).

1.3 Terveys ja hedelmällisyys

Ummessaolokauden ja alkulaktaation aineenvaihdunta- ja terveysongelmat voivat vähentää maitotuotosta 5–10 kg/d, mikä voi johtaa 1000–2000 kg pienempään vuosituotokseen (Holcomb ym. 2001). Terveysongelmat voivat heikentää hedelmällisyyttä ja aiheuttaa taloudellisia menetyksiä. Poikimista edeltänyt kuiva-aineen syönnin pieneneminen voi lisätä rasvahappojen mobilisaatiota rasvakudoksesta ja altistaa metabolisille häiriöille, kuten rasvamaksalle ja ketoosille (Bertics ym. 1992, Hayirli 2006). Rasvamaksa ja ketoosi heikentävät tuotosta, immuniteettia ja hedelmällisyyttä (Hayirli 2006). Plasman suurentunut NEFA-pitoisuus poikimisen aikaan on yhteydessä suurempaan rasvamaksan ja ketoosin todennäköisyyteen (Grummer 1993) sekä poikimavaikeuksiin, jälkeisten jäämiseen, juoksutusmahan siirtymiin ja utaretulehduksiin laktaatiokauden alussa (Grummer ym. 1993, Melendez ym. 2009). Melendezin ym. (2009) tutkimuksessa havaittiin, että lehmillä, joilla plasman NEFA-pitoisuus oli heti poikimisen jälkeen yli 1,2 mmol/l, oli suurempi riski sairastua utaretulehduksiin ja poikimahalvauksiin.

Rasvakudoksen nopea mobilisointi voi johtaa suurempaan triglyseridien kerääntymiseen maksaan ja siitä johtuen maksan lipidoosiin eli rasvamaksaan (Grummer 1993, Rukkwamsuk ym. 1998). Rasvamaksa on metabolinen häiriö, joka ilmenee, kun

rasvahappoja otetaan maksaan nopeammin kuin niitä pystytään poistamaan (Bertics ym. 1992). Maksan rasvoittuminen saattaa heikentää maksan normaalia toimintaa, muun muassa maksan glukoosin tuotantoa (Rukkwamsuk ym. 1999b) sekä maksan kykyä hapettaa rasvahappoja (Murondoti ym. 2004). Normaalisti vapaita rasvahappoja hapetetaan maksassa energiaksi tai niitä voidaan poistaa maksasta vähäisessä määrin VLDL:nä metabolisoitavaksi muihin kudoksiin (Rukkwamsuk ym. 1999a, Drackley ym. 2001, Beever 2006). Kun maksaan kertyy liikaa rasvaa, vapaat rasvahapot hapettuvat vain osittain ja ketoaineiden, kuten BHBA:n määrä suurenee (Drackley ym. 2001, Beever 2006).

Hyvin voimakas ja pitkittynyt negatiivinen energiatase lypsylehmällä viivästyttää kiimakiertojen alkamista ja heikentää tiinehtyvyyttä. Siemennystä edeltävien kiimakiertojen määrä korreloi positiivisesti tiinehtyvyyden kanssa. Lihavat lehmät tiinehtyvät yleensä huonosti seurauksena voimakkaasti negatiivisesta energiataseesta, joka vähentää luteinisoivan hormonin (LH) pulssimaista erityystä, jolloin ovulaation todennäköisyys pienenee. Myös insuliinin pitoisuus pienenee negatiivisessa energiataseessa, jolloin insuliinin follikkelien kasvua stimuloiva vaikutus pienenee (Butler 2003).

2 TUTKIMUKSEN TAVOITTEET

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää ummessaolokauden karkearehun energiapitoisuuden vaikutusta lypsylehmien rasva- ja valkuaisvarastojen käyttöön. Hypoteesi oli, että ummessaolokaudella runsasenergisellä rehulla ruokittujen lehmien insuliiniresistenssi on voimakkaampi ja rasvahappojen mobilisaatio suurempaa kuin vähemmän energiaa sisältänyttä rehua saaneilla lehmillä poikimisen jälkeen.

3 AINEISTO JA MENETELMÄT

Tutkimus suoritettiin Helsingin yliopiston Viikin opetus- ja tutkimustilan navetassa 3.9.2010 – 15.5.2011. Kokeessa oli 16 vähintään toista kertaa poikivaa ayrshire-lehmää.

Koe suoritettiin täydellisesti satunnaistettuna lohkokokeena, jossa lehmät jaettiin pareihin kuntoluokan ja odotetun poikimapäivän perusteella. Kunkin parin toinen lehmä arvottiin koe- ja toinen kontrolliruokinnalle.

Koe alkoi 8 viikkoa ennen odotettua poikimapäivää ja päättyi 8 viikkoa poikimisen jälkeen. Lehmät olivat parressa kokeen alussa, kunnes ne 9. päivänä poikimisen jälkeen siirrettiin pihattoon. Poikimisen ja katetrointien ajaksi lehmät siirrettiin poikimakarsinaan. Lehmät saivat ummessaolokaudella kontrolliruokintana vapaasti joko säilörehua (säilörehuryhmä) tai koeruokintana kuitupitoista seosrehua (seosrehuryhmä) sekä kummassakin ryhmässä 200 g kivennäistä (Tunnu-Melli, Rehuraisio) päivässä. Säilörehuryhmän säilörehu oli 2. sadon säilörehua (D-arvo 638 g/kg ka) ja seosrehu sisälsi 55% 1. sadon säilörehua (D-arvo 667 g/kg ka), 40% olkea ja 5% rypsirouhetta kuiva-aineessa. Karkearehut jaettiin kolme kertaa päivässä, kello 7, 13 ja 20. Tunnutusruokinta aloitettiin 10 päivää ennen odotettua poikimista. Lehmät saivat väkirehuna täysrehua (Pro-Maituri, Rehuraisio) tunnutuksen viitenä ensimmäisenä päivänä 1 kg/pv ja seuraavina viitenä päivänä 2 kg/pv. Poikimisen viivästyessä väkirehua annettiin 2 kg/pv poikimiseen saakka. Poikimapäivänä lehmien väkirehuannos oli 4 kg täysrehua. Tunnutusväkirehut jaettiin kello 6.15 ja 16.45.

Poikimisen jälkeen kummankin ryhmän lehmät saivat samaa säilörehua vapaasti ja väkirehuannosta nostettiin asteittain siten, että lehmät saivat täysrehun lisäksi puolitiivistettä (Amino-Maituri 30, Rehuraisio) ja kivennäistä (Pihatto-Melli, Rehuraisio). Toisena tuotospäivänä väkirehuannos oli 5,0 kg; josta täysrehua oli 4,5 kg ja puolitiivistettä 0,5 kg. 32 päivää poikimisen jälkeen väkirehuannos oli 16 kg; josta täysrehua oli 12,5 kg ja puolitiivistettä 3,5 kg. Poikimisen jälkeen säilörehu jaettiin parressa kello 5, 11, 15 ja 20 ja väkirehu kello 6.15, 10.00, 16.45 ja 19.30. Pihatossa lehmät saivat säilörehua vapaasti ja väkirehua rehukioskeista asteittaisen väkirehumäärän lisäyksen mukaisesti. Lehmät saivat juoda vettä vapaasti koko kokeen ajan. Yksi lehmä poistettiin kokeesta seosrehuryhmästä neljä viikkoa poikimisen jälkeen juoksutusmahaongelmien takia.

Tutkimuksen lehmät punnittiin 56, 42, 28, 14 ja 5 päivää ennen odotettua poikimista ja 1, 2, 6, 7, 14, 28, 42 ja 56 päivää poikimisen jälkeen. Poikimisen viivästyessä eläimet punnittiin lisäksi 5 päivän välein. Punnitus tehtiin aina kahtena peräkkäisenä päivänä ja mikäli peräkkäisten päivien elopainot poikkesivat toisistaan yli 10 kg, tehtiin vielä kolmantena päivänä uusi punnitus. Myös lehmien kuntoluokitus tehtiin ennen poikimista samoina ajankohtina kuin punnitus ja poikimisen jälkeen 1, 7, 14, 28, 42 ja 56 päivää poikimisesta. Kuntoluokituksen suoritti aina sama henkilö koko kokeen ajan ja arvosteluasteikko oli 1 – 5, jossa 1 = liian laiha ja 5 = liian lihava lehmä.

Verinäytteitä otettiin häntäsuonesta (*Vena coccygeus*) 8, 6, 4, 3 viikkoa ja 16, 12, 7, 5, 3 ja 1 päivää ennen odotettua poikimista sekä 1, 3, 5 ja 7 päivää ja 2, 3, 4, 6 ja 8 viikkoa poikimisen jälkeen. Näytteet otettiin 10 ml EDTA-putkiin (Vacutainer, BD Medical, Franklin Lakes, USA) aina samaan aikaan, alkaen kello 13. Poikimisen viivästyessä näytteitä otettiin joka toinen päivä poikimiseen saakka.

Selkälihaksen paksuus määritettiin pitkästä selkälihaksesta (*musculus longissimus dorsi, pars lumbalis*) 3. lannenikaman poikkihaarakkeen kohdalta 12 päivää ennen odotettua poikimista sekä 7 päivää ja 4 viikkoa poikimisen jälkeen ultraäänilaitteella (Aloka SSD-500, Aloka, Tokio, Japani, 5.0 MHz anturi) Kokkoson ym. (2005) tutkimuksessa esitetyn periaatteen mukaisesti.

Glukoosirasituskokeet tehtiin 11 (+/-1) päivää ennen odotettua poikimista ja 8 (+/-1) päivää poikimisen jälkeen. Glukoosirasituskoetta varten lehmän kaulalaskimot (*Vena jugularis*) katetroitiin molemmilta puolilta kaulaa edellisenä päivänä. Kaulan oikealle puolelle asetettiin omatekoinen katetri (Bovivet 14 G kalkkineula (2,1 x 80 mm) ja steriili silikoniletku, johon liitettiin katkaistu ja tylpäksi hiottu 18G:n neula (Microlance tai Terumo) sekä kolmitiehana (BD Connecta™ Plus Stopcock, 25 cm, BD Medical, New Jersey, USA)). Vasemmalle puolelle asetettiin Extended Use MILACATH kanyyli (12 ga x 13) cm (MILA International, Inc., Erlanger, USA) ja siihen kolmitiehana kiinni. Lehmiltä poistettiin rehut kaksi tuntia ennen glukoosirasituskokeen alkua ja ne saivat rehua heti rasituskokeen päätyttyä. Rasituskokeissa infusoitiin vasemmasta katetrasta glukoosia (300 mg/ml, B. Braun Melsungen, AG, Melsungen, Saksa) 0,25 g/elopaino-kg.

Glukoosi-infuusion jälkeen katetriin laitettiin 20 ml NaCl ja 5 ml 0,1 % hepariiniliuosta (1 ml hepariinia/100 ml NaCl). Näytteitä otettiin kaulan oikean puolen katetrasta kolmitiehanan kautta 10 ml EDTA-putkiin (Vacutainer, BD Medical, Franklin Lakes, USA) -10, -5, 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 24, 26, 28, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 120, 150, 180, 210 ja 240 minuutin kuluttua glukoosi-infuusiosta. Ennen näytteenottoa katetrasta otettiin 5 ml verta ”roskanäytteenä”. Näytteenoton jälkeen katetriin laitettiin 0,1 % hepariiniliuosta katetriin 2-3 ml veren hyytymisen estämiseksi, kun näytteenottoväli oli pidempi kuin kaksi minuuttia.

Verinäytteet sentrifugoitiin (Eppendorf 5810R, Eppendorf AG, Hampuri, Saksa) 2220 g (3500 rpm) 10 minuuttia plasman erottamiseksi. Plasma pakastettiin (-20 °C) myöhempiä analyysejä varten, jolloin näytteistä määritettiin glukoosi-, insuliini-, BHBA-, NEFA- ja 3-metyylihistidiini -pitoisuudet. Kokeen aikana otetuista häntäsuoninäytteistä tarkasteltiin erikseen poikimista edeltäviä ja poikimisen jälkeisiä näytteitä.

Insuliini määritettiin radioimmunologisella (RIA) menetelmällä käyttäen Porcine Insulin Ria-kittiä (PI-12K, Millipore Oy, Espoo). Määritykset tehtiin Helsingin yliopiston maatalous-metsätieteellisen tiedekunnan laitekeskuksen laboratoriossa. Glukoosi määritettiin entsyymaattisella, kolorimetrisella GOD-POD menetelmällä (Glucose (GOD-POD) kit, Thermo Fisher Scientific Oy, Vantaa). NEFA määritettiin entsyymaattisella, kolorimetrisella ACS-ACOD menetelmällä (NEFA-HR(2) kit, Wako Chemicals GmbH, Neuss, Saksa). BHBA määritettiin entsyymaattisella menetelmällä (Ranbut kit, Randox Laboratories, Crumlin, UK). Glukoosi-, NEFA ja BHBA-määritykset tehtiin Helsingin yliopiston eläinlääketieteellisen tiedekunnan keskuslaboratoriossa käyttäen automaattianalysaattoria (KONE Pro Selective Chemistry Analyser, Thermo Electron Oy, Vantaa). 3-metyylihistidiinin pitoisuudet määritettiin nestekromatografilla (UPLC) (Waters Acquity, Milford, USA).

Glukoosirasituskokeiden tuloksista laskettiin glukoosin poistumisnopeus (CR, clearance rate, yksikkönä %/min) ja puoliintumisaika ($T_{1/2}$, yksikkönä min) usealle tarkasteluajavälille. Saatuun pitoisuusdataan sovitettiin eksponenttifunktio $F(t) = b \cdot e^{(-c \cdot t)}$ SAS:in (versio 9.2) NLIN-proseduurilla iteroimalla vakiot b ja c . Funktiossa t on aika

(min), $F(t)$ on metaboliitin (glukoosi, NEFA) tai hormonin (insuliini) konsentraatio ajassa t , b on arvioitu glukoosin ja insuliinin maksimiarvo tai NEFA:n perusarvo ja c on käyrälle sovitetun suoran regressio- eli kulmakerroin. Poistumisnopeus ja puoliintumisaika laskettiin seuraavilla kaavoilla:

$$CR = 100 * (\ln [F(t_1)] - \ln [F(t_2)]) / (F(t_2) - F(t_1))$$

$$T_{1/2} = (\ln 2 / CR) * 100$$

Glukoosirasituskokeiden glukoosi-, insuliini- ja NEFA-pitoisuuksien käyrienalaiset pinta-alat (AUC, area under the concentration time- curve, yksikkönä mmol/l x min) laskettiin SAS-ohjelmistolla perustason ja käyrän väliin muodostuvien puolisuunnikkaiden aloista halutulla tarkasteluvälillä (Shiang 2004). Perustasona käytettiin juuri ennen glukoosirasituskoetta otettujen näytteiden (-15 ja -5 min) pitoisuuksien keskiarvoa. Glukoosirasituskokeiden tulokset analysoitiin lisäksi Minimal Model- analyysillä (Bergman 2005), jossa määritettiin ensivaiheen insuliinivaste (AIR_G), insuliinin herkkyysindeksi (S_I) sekä ($DI = S_I \times AIR_G$), joka kuvaa haiman beetasolujen toiminnallisuutta.

Tulosten tilastollinen käsittely tehtiin SAS-ohjelmiston (versio 9.3, SAS Institute Inc., Cary, USA) Mixed-proseduurilla. Glukoosirasituskokeiden tulokset sekä 3-MH:n (3-metyylihistidiini) pitoisuus ja selkälihaksen paksuustulokset ennen poikimista analysoitiin mallilla, jossa kiinteänä tekijänä oli ruokinta ja satunnaisena tekijänä pari. Ennen poikimista tehtyjen glukoosirasituskokeiden tuloksia analysoitaessa malliin lisättiin rasituskokeesta toteutuneeseen poikimiseen kulunut aika. Häntäsuoninäytteiden tulokset sekä 3-MH:n pitoisuudet ja selkälihaksen paksuustulokset poikimisen jälkeen analysoitiin toistettujen mittausten mallilla, jossa kiinteinä tekijöinä oli ruokinta, aika ja ruokinta*aika sekä satunnaisina tekijöinä pari sekä pari*aika. Toistettujen mittausten analyysissä käytettiin kolmea eri kovarianssirakennetta: “compound symmetry” (CS), “unstructured” (UN) ja “spatial power” (SP(POW)). Näistä parhaiten aineistoon sopiva valittiin Bayesian information criteria (BIC) –arvon perusteella. Osa plasman parametrien arvoista ei ollut normaalijakautuneita, joten ne testattiin käyttäen käänteis- ja logaritmimuunnettuja arvoja. Mikäli aineisto ei ollut muunnostenkaan jälkeen

normaalijakautunut, käytettiin Friedmanin kaksisuuntaista ei-parametrista varianssianalyysiä.

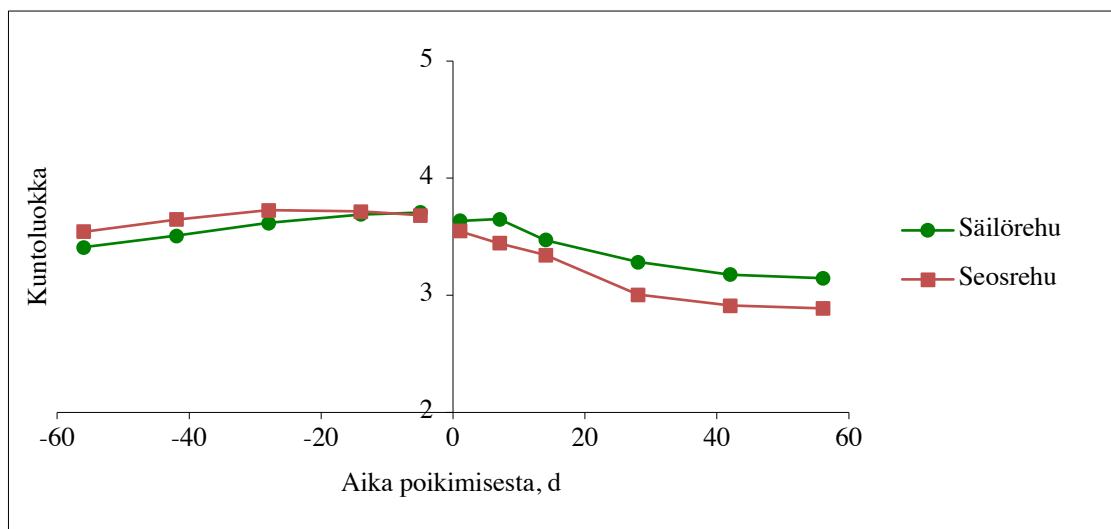
4 TULOKSET

4.1 Energiansaanti

Ummessaolokaudella säilörehuryhmän säilörehussa oli energiaa keskimäärin 10,1 MJ/kg ka. Seosrehussa oli energiaa keskimäärin 9,1 MJ/kg ka ja seosrehussa olevassa säilörehussa 10,7 MJ/kg ka. Poikimisen jälkeen annetussa säilörehussa oli energiaa keskimäärin 11,0 MJ/kg ka. Päivittäinen energiansaanti ummessaolokaudella oli säilörehuryhmän lehmillä keskimäärin 144 MJ ja seosrehuryhmän lehmillä 109 MJ. Säilörehua saaneet lehmät söivät rehua keskimäärin 14,2 kg ka/d ja seosrehua saaneet lehmät 12,0 kg ka/d ummessaolokauden aikana. Keskimääräinen NDF-pitoisuuksien ero ummessaolokauden ruokintojen välillä oli 120 g/kg ka ja keskimääräiset raakavalkuaispitoisuudet olivat säilörehussa 129 g/kg ka ja seosrehussa 122 g/kg ka. Kokeen alussa (-8 vk) säilörehua saaneiden lehmien keskimääräinen elopaino oli 725 kg ja seosrehua saaneiden lehmien 740 kg. Juuri ennen poikimista (-5 d) säilörehuryhmän eläimet painoivat 800 kg ja seosrehuryhmän eläimet 781 kg (SEM 39,3; $p = 0,91$). Ummessaolokaudella (-8 vk \rightarrow -5 d) säilörehuryhmän lehmien elopaino suureni enemmän ($p < 0,03$) (1,4 kg/d) kuin seosrehuryhmän lehmien (0,8 kg/d). Kokeen lopussa (+8 vk) ummessaolokaudella säilörehua saaneiden elopaino oli 692 kg ja seosrehua saaneiden 700 kg. Elopainoissa ei ollut tilastollisesti merkitseviä eroja kokeen aikana.

Sekä säilörehua että seosrehua saaneiden lehmien kuntoluokat (arvosteluasteikko 1 = laiha, 5 = lihava) suurenivat hieman poikimiseen saakka, jonka jälkeen kuntoluokka pieneni molempien ryhmien lehmillä (kuva 1). Seosrehuryhmän lehmillä kuntoluokka pieneni poikimisen jälkeen hieman enemmän kuin säilörehuryhmän lehmillä, mutta ero ei ollut tilastollisesti merkitsevä. Kokeen alussa (-8 vk) säilörehua saaneiden lehmien keskimääräinen kuntoluokka oli 3,4 ja seosrehua saaneiden 3,5. Ennen poikimista (-5 d) säilörehuryhmän eläimien kuntoluokka oli keskimäärin 3,8 ja seosrehuryhmän eläimillä 3,7. Kokeen lopussa (+ 8 vk) säilörehua saaneiden kuntoluokka oli keskimäärin 3,1 ja

seosrehua saaneiden 2,9. Tässä tutkimuksessa kuntoluokissa tai kuntoluokan muutoksissa ei ollut tilastollisesti merkitseviä eroja kokeen aikana. Suurin muutos kuntoluokassa tapahtui poikimisen jälkeen ensimmäisen laktaatiokuukauden aikana, jolloin säilörehuryhmän lehmien kuntoluokka pieneni 0,35 yksikköä ja seosrehuryhmän lehmien 0,55 yksikköä. Kuntoluokkien muutoksissa oli enemmän yksilöiden välistä vaihtelua poikimisen jälkeen kuin ennen poikimista, mutta keskiarvosta poikkeavia yksilöitä oli sekä säilörehu- että seosrehuryhmässä.



Kuva 1. Kuntoluokan muutos ummessaolokaudella enemmän energiaa saaneilla (säilörehu) ja vähemmän energiaa saaneilla (seosrehu) lehmillä.

4.2 Selkälihaksen paksuus ja plasman 3-MH-pitoisuus

Selkälihasten paksuuksissa ei ollut eroa säilörehua ja seosrehua saaneiden lehmien välillä ennen poikimista, mutta poikimisen jälkeen säilörehuryhmän lehmillä selkälihakset olivat paksummat ($p = 0,01$) kuin seosrehuryhmän lehmillä (taulukko 1). Plasman 3-MH-pitoisuus oli ennen poikimista seosrehua saaneilla lehmillä suuntaa-antavasti suurempi ($p = 0,09$) kuin säilörehua saaneilla lehmillä, mutta poikimisen jälkeen eroa 3-MH-pitoisuuksissa ei ollut. Poikimisen jälkeen ruokinta*aika yhdysvaikutusta ei ollut selkälihaksen paksuudessa eikä plasman 3-MH-pitoisuudessa.

Taulukko 1. Selkälihaksen paksuus ja plasman 3-MH-pitoisuus ummessaolokaudella enemmän energiaa saaneilla (säilörehu) ja vähemmän energiaa saaneilla (seosrehu) lehmillä.

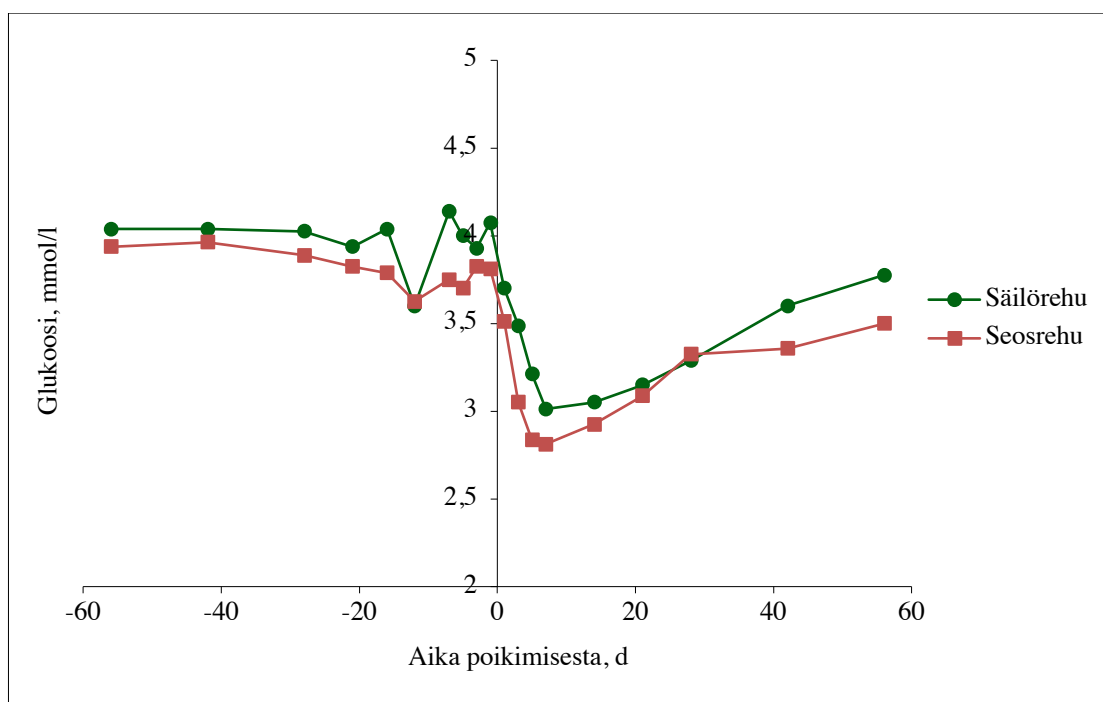
	Säilörehu (n = 8)	Seosrehu (n = 8)	SEM	P ruokinta	P ruokinta*aika
Ennen poikimista					
Selkälihaksen paksuus, mm	52,2	51,3	2,29	0,65	
3-MH, $\mu\text{mol/l}$	5,8	7,5	0,73	0,09	
Poikimisen jälkeen					
Selkälihaksen paksuus, mm	47,8	45,3	2,17	0,01	0,83
3-MH, $\mu\text{mol/l}$	8,8	9,3	0,82	0,68	0,19

3-MH = 3-metyylihistidiini

4.3 Häntäsuoniverinäytteet

4.3.1 Plasman glukoosipitoisuus

Häntäsuoninäytteiden glukoosipitoisuus pysyi samalla tasolla kummallakin koeryhmällä poikimiseen saakka, jonka jälkeen glukoosipitoisuus pieneni ensimmäisen laktaatioviikon aikana noin 1,0 mmol/l (kuva 2). Pienimmillään glukoosipitoisuus oli ensimmäisen laktaatioviikon aikana säilörehuryhmän lehmillä 3,0 mmol/l ja seosrehuryhmän lehmillä 2,8 mmol/l. Tämän jälkeen glukoosipitoisuus alkoi suurentua ja oli saavuttanut lähes poikimista edeltäneen tason kokeen päättyessä (+ 8 vk).



Kuva 2. Häntäsuoninäytteiden glukoosipitoisuus ummessaolokaudella enemmän energiaa saaneilla (säilörehu) ja vähemmän energiaa saaneilla (seosrehu) lehmillä.

Säilörehuryhmän lehmien häntäsuoninäytteiden glukoosipitoisuus oli suuntaa-antavasti suurempi ennen poikimista ($p = 0,05$) ja poikimisen jälkeen ($p = 0,09$) kuin seosrehuryhmän lehmillä (taulukko 2). Ennen poikimista säilörehu- ja seosrehuryhmien lehmien plasman glukoosipitoisuuden ero suureni poikimisen lähestyessä (ruokinta*aika yhdysvaikutus, $p = 0,06$) eron ollessa suurimmillaan 2 vk ennen poikimista. Poikimisen jälkeen ruokinta*aika yhdysvaikutusta ei ollut.

Taulukko 2. Keskimääräiset plasman glukoosi-, insuliini-, NEFA- ja BHBA-pitoisuudet ummessaolokaudella enemmän energiaa saaneilla (säilörehu) ja vähemmän energiaa saaneilla (seosrehu) lehmillä.

	Säilörehu (n = 8)	Seosrehu (n = 8)	SEM	P ruokinta	P ruokinta*aika
Ennen poikimista					
Glukoosi (mmol/l)	4,0	3,8	0,06	0,05	0,06
Log insuliini ¹ (μIU/ml)	3,00 (20,1)	2,67 (14,4)	0,151	0,07	0,08
Log NEFA ¹ (mmol/l)	-2,09 (0,12)	-1,93 (0,15)	0,097	0,26	0,07
BHBA(mmol/l)	0,67	0,61	0,018	0,006	0,27
Poikimisen jälkeen					
Glukoosi (mmol/l)	3,4	3,2	0,09	0,09	0,45
Log insuliini ¹ (μIU/ml)	2,22 (9,2)	2,12 (8,3)	0,107	0,52	0,37
Log NEFA ¹ (mmol/l)	-0,97 (0,38)	-1,06 (0,35)	0,133	0,62	0,28
1/BHBA ² (mmol/l)	0,89 (1,12)	0,76 (1,32)	0,091	0,32	0,01

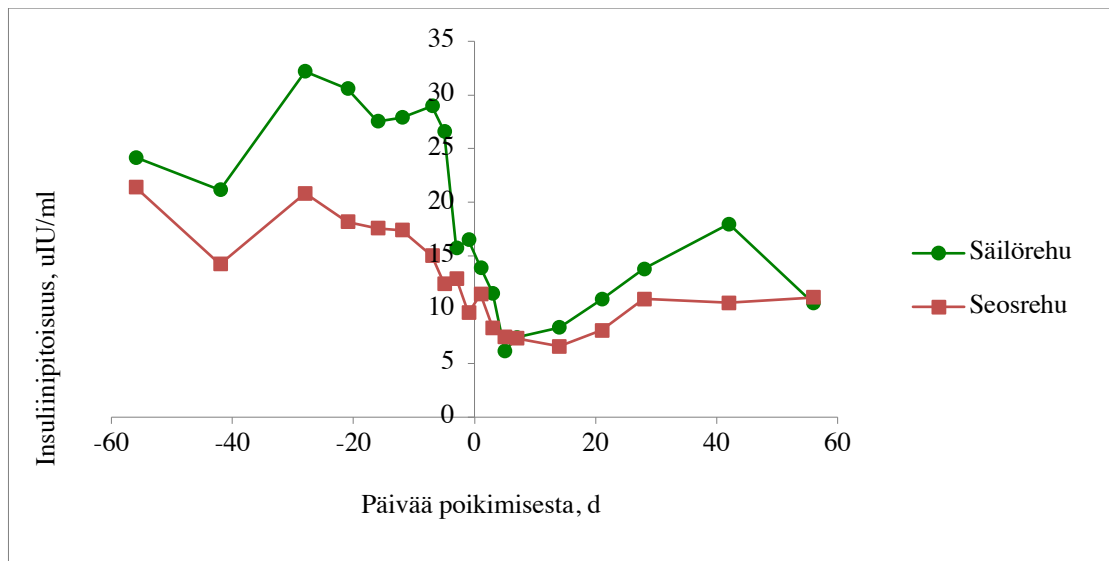
NEFA = vapaat rasvahapot, BHBA = β-hydroksivoihappo

¹Tilastollinen testaus logaritimuunnoksista, muuntamattomat tulokset suluissa

²Tilastollinen testaus käänteisarvosta, muuntamattomat tulokset suluissa

4.3.2 Plasman insuliinipitoisuus

Häntäsuoninäytteiden insuliinipitoisuudet pienenevät poikimisen lähestyessä sekä säilörehuryhmän että seosrehuryhmän lehmillä ja suurenevät poikimisen jälkeisten viikkojen aikana (kuva 3). Häntäsuoninäytteiden insuliinipitoisuudet olivat ennen poikimista suurempia kuin poikimisen jälkeen.

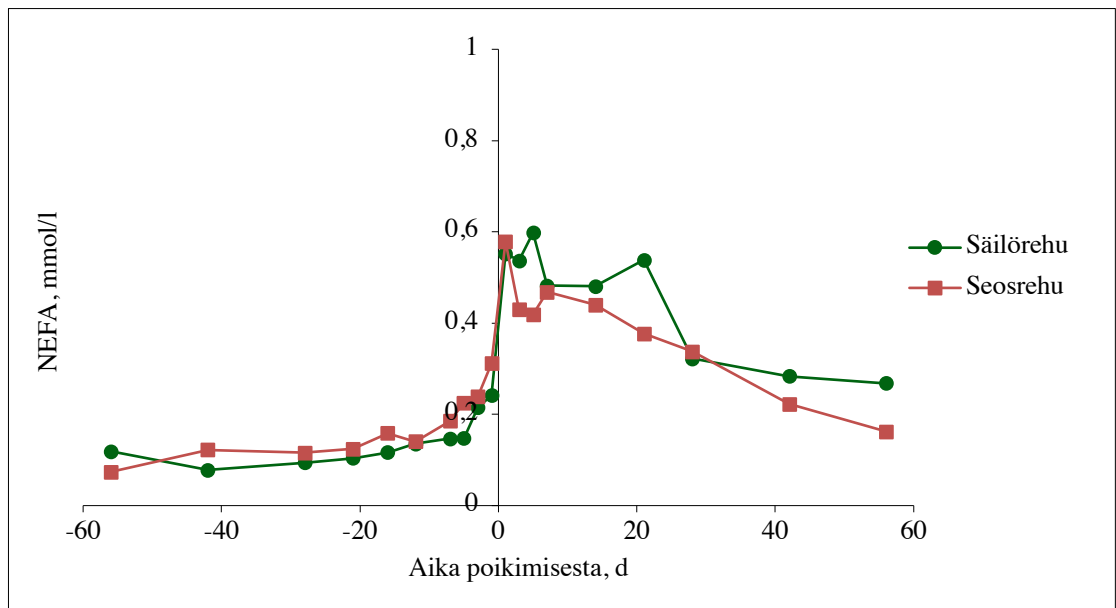


Kuva 3. Häntäsuoninäytteiden insuliinipitoisuus ummessaolokaudella enemmän energiaa saaneilla (säilörehu) ja vähemmän energiaa saaneilla (seosrehu) lehmillä.

Ennen poikimista säilörehuryhmän lehmien plasman insuliinipitoisuus oli suuntaantavasti suurempi ($p = 0,07$) kuin seosrehuryhmän lehmien (taulukko 2). Poikimisen jälkeen insuliinipitoisuuksissa ei ollut tilastollisesti merkitsevää eroa eri ruokintojen välillä. Ennen poikimista säilörehu- ja seosrehuryhmien lehmien plasman insuliinipitoisuuksien ero oli suurimmillaan neljä viikkoa ennen poikimista (ruokinta*aika yhdysvaikutus, $p = 0,08$). Poikimisen jälkeen ruokinta*aika yhdysvaikutusta ei ollut.

4.3.3 Plasman NEFA-pitoisuus

Häntäsuoninäytteiden NEFA-pitoisuudet olivat pieniä (noin 0,07 – 0,16 mmol/l) ennen poikimista ja alkoivat suurentua noin viikkoa ennen poikimista (kuva 4). Poikimisen aikaan NEFA-pitoisuudet olivat säilörehuryhmän lehmillä keskimäärin 0,55 mmol/l ja seosrehuryhmän lehmillä keskimäärin 0,58 mmol/l. Poikimisen jälkeen NEFA-pitoisuudet pienenevät vähitellen ja olivat kokeen lopussa (+ 8 vk) säilörehuryhmän lehmillä keskimäärin 0,27 mmol/l ja seosrehuryhmän lehmillä keskimäärin 0,16 mmol/l. Poikimisen jälkeen NEFA-pitoisuuksissa oli enemmän yksilöiden välistä vaihtelua kuin ennen poikimista.



Kuva 4. Häntäsuoninäytteen NEFA-pitoisuus ummessaolokaudella enemmän energiaa saaneilla (säilörehu) ja vähemmän energiaa saaneilla (seosrehu) lehmillä.

Häntäsuoninäytteen NEFA-pitoisuuksissa ei ollut tilastollisesti merkitsevää eroa ruokintojen välillä ennen poikimista eikä poikimisen jälkeen. Ennen poikimista seosrehuryhmän lehmien plasman NEFA-pitoisuus suureni nopeammin kuin säilörehuryhmän lehmien viimeisellä viikolla ennen poikimista (ruokinta*aika yhdysvaikutus, $p = 0,07$). Poikimisen jälkeen ruokinta*aika yhdysvaikutusta ei ollut.

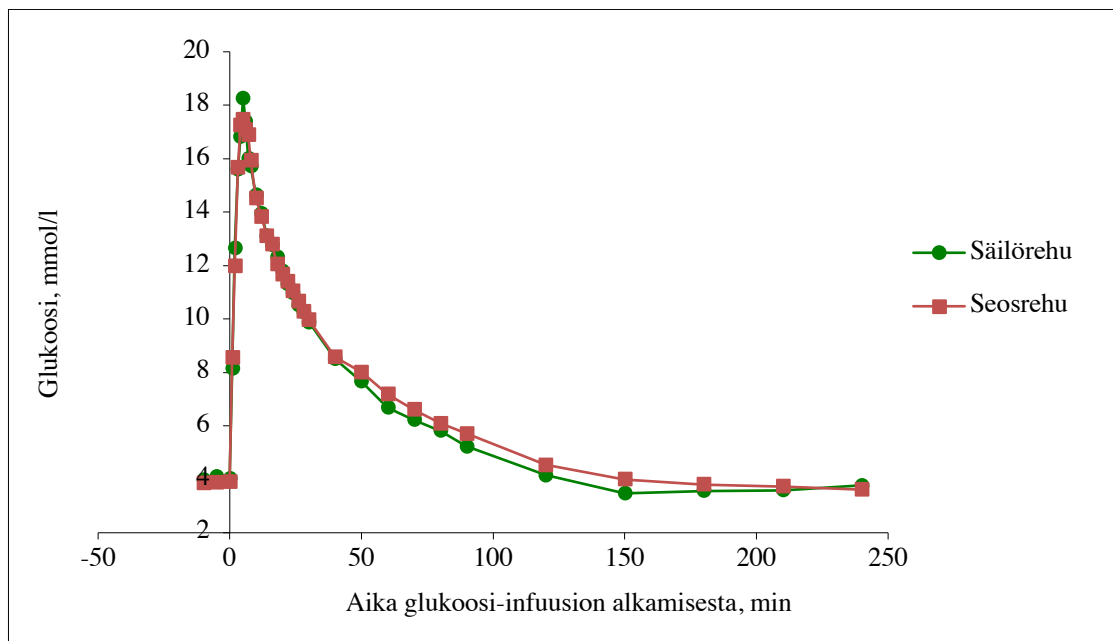
4.3.4 Plasman BHBA-pitoisuus

Häntäsuoninäytteen BHBA-pitoisuus oli ennen poikimista suurempi ($p = 0,006$) säilörehuryhmän lehmillä verrattuna seosrehuryhmän lehtiin (taulukko 2). Ruokinta*aika yhdysvaikutusta ei ollut ennen poikimista. Poikimisen jälkeen veren BHBA-pitoisuus ei keskimäärin eronnut ruokintojen välillä, mutta seosrehuryhmän lehmien plasman BHBA-pitoisuus oli suurempi kuin säilörehuryhmän lehmillä 6 ja 8 viikon kuluttua poikimisesta (ruokinta*aika yhdysvaikutus, $p = 0,01$).

4.4 Glukoosirasituskokeet

4.4.1 Plasman glukoosipitoisuus glukoosirasituskokeissa

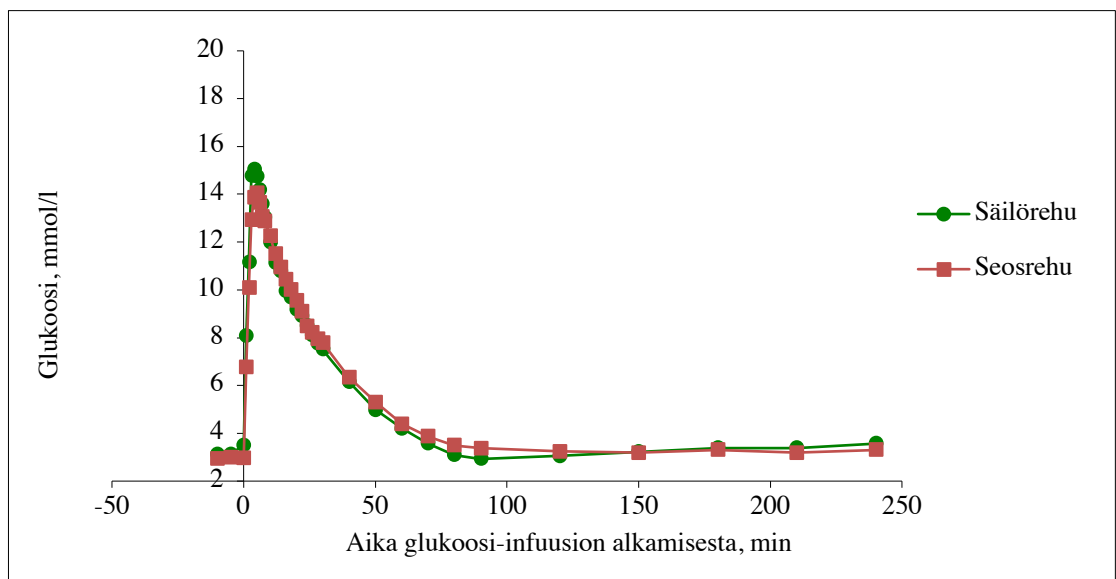
Glukoosirasituskokeet pyrittiin tekemään 11 päivää ennen odotettua poikimista. Todelliseen poikimapäivään nähden glukoosirasituskokeita tehtiin 22 – 5 päivää ennen poikimista. Ennen poikimista tehdyssä glukoosirasituskokeessa plasman glukoosipitoisuus suureni nopeasti glukoosi-infuusion jälkeen sekä säilörehua että seosrehua saaneilla lehmillä (kuva 5). Huippupitoisuuden saavuttamisen vaihteluväli yksilöiden välillä oli 3 – 7 minuuttia, mutta molempien ryhmien yksilöillä oli kummankin ääripään arvoja. Huippupitoisuutensa saavutettuaan glukoosipitoisuus pieneni molemmilla ryhmillä kunnes oli saavuttanut glukoosi-infuusiota edeltäneen tason.



Kuva 5. Glukoosipitoisuus glukoosirasituskokeessa 11 päivää ennen odotettua poikimista ummessaolokaudella enemmän energiaa saaneilla (säilörehu) ja vähemmän energiaa saaneilla (seosrehu) lehmillä.

Poikimisen jälkeen tehdyssä glukoosirasituskokeessa glukoosipitoisuus suureni nopeasti glukoosi-infuusion jälkeen (kuva 6), mutta glukoosin huippupitoisuus oli pienempi kuin

ennen poikimista tehdyssä glukoosirasituskokeessa (taulukko 3). Huippupitoisuuden saavuttamisen vaihteluväli poikimisen jälkeen oli 3 – 10 minuuttia, josta pisin aika glukoosin huippupitoisuuteen kului seosrehua saaneella lehmällä. Muita vaihteluvälin arvoja oli molempien ryhmien yksilöillä. Glukoosipitoisuus palautui poikimista edeltäneelle tasolle nopeammin kuin ennen poikimista.



Kuva 6. Glukoosipitoisuus glukoosirasituskokeessa 8 päivää poikimisen jälkeen ummessaolokaudella enemmän energiaa saaneilla (säilörehu) ja vähemmän energiaa saaneilla (seosrehu) lehmillä.

Glukoosipitoisuuden lähtö- tai huippuarvoissa ei ollut eroa eri ruokintojen välillä ennen poikimista eikä poikimisen jälkeen (taulukko 3). Lähtö- ja huippuarvot olivat myös yksilöiden välillä hyvin samankaltaisia. Se, miten lähellä glukoosirasituskoetta tehtiin ennen poikimista, ei vaikuttanut glukoosipitoisuuden lähtö- eikä huippuarvoihin. Veren glukoosipitoisuus ennen rasituskoetta oli kummankin ryhmän eläimillä suurempi ennen poikimista tehdyssä glukoosirasituskokeessa kuin poikimisen jälkeen tehdyssä kokeessa. Säilörehuryhmän ja seosrehuryhmän lehmien välillä ei havaittu eroa glukoosin poistumisnopeudessa (CR) glukoosi-infuusion jälkeen ennen poikimista eikä poikimisen jälkeen, mutta poistumisnopeudessa oli jonkin verran vaihtelua yksilöiden välillä. Poikimisen lähestyminen ei vaikuttanut glukoosin poistumisnopeuteen. Glukoosin

puoliintumisajoissa ei ollut eroa säilörehua saaneiden ja seosrehua saaneiden lehmien välillä eikä poikimiseen jäljellä ollut aika vaikuttanut puoliintumisaikaan. Glukoosin puoliintumisajoissa ei ollut eroa ruokintojen välillä poikimisen jälkeen, mutta yksilöiden välillä oli jonkin verran vaihtelua sekä ennen poikimista että poikimisen jälkeen. Poikimisen jälkeen yhden seosrehuryhmän lehmän glukoosin poistumisnopeus oli huomattavasti pienempi ja puoliintumisaika huomattavasti suurempi kuin muiden yksilöiden vastaavat arvot.

Glukoosin käyräalainen pinta-ala AUC_{240} oli ennen poikimista tehdyssä glukoosirasituskokeessa säilörehuryhmän lehmillä pienempi kuin seosrehuryhmän lehmillä ($p = 0,02$) ja myös AUC_{120} oli suuntaa-antavasti pienempi ($p = 0,06$). AUC_{120} ja AUC_{240} olivat suuntaa-antavasti sitä suurempia ($p = 0,08$) molempien ryhmien lehmillä, mitä lähempänä poikimista glukoosirasituskoe tehtiin. Poikimisen jälkeen eroa käyräalaisissa pinta-aloissa ei ollut.

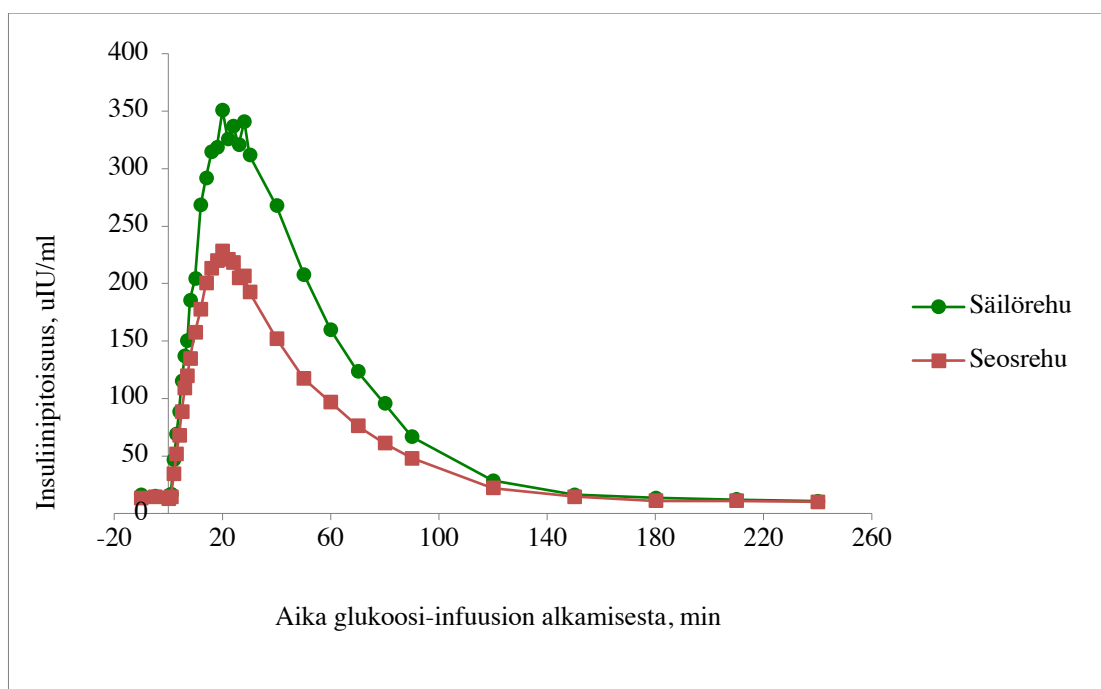
Taulukko 3. Glukoosirasituskokeiden glukoosimääritysten tulokset 11 päivää ennen odotettua poikimista ja 8 päivää poikimisen jälkeen ummessaolokaudella enemmän energiaa saaneilla (säilörehu) ja vähemmän energiaa saaneilla (seosrehu) lehmillä.

	Säilörehu (n = 8)	Seosrehu (n = 8)	SEM	P ruokinta	P päivää poikimiseen
- 11 d					
Lähtöarvo (mmol/l)	4,0	3,9	0,12	0,14	0,47
Huippuarvo (mmol/l)	19,2	19,4	0,37	0,71	0,94
CR ₆₀ (%/min)	1,4	1,3	0,12	0,83	0,93
T _{1/2 240} (min)	60	64	4,5	0,55	0,68
AUC ₁₂₀ (mmol/l x 120 min)	461	519	38,0	0,06	0,08
AUC ₂₄₀ (mmol/l x 240 min)	413	525	47,9	0,02	0,08
+ 8 d					
Lähtöarvo (mmol/l)	3,1	3,0	0,16	0,51	
Huippuarvo (mmol/l)	16,8	15,5	0,55	0,13	
CR ₆₀ (%/min)	2,0	1,7	0,17	0,15	
T _{1/2 240} (min)	41	51	4,9	0,13	
AUC ₁₂₀ (mmol/l x 120 min)	298	342	23,7	0,15	
AUC ₂₄₀ (mmol/l x 240 min)	322	374	30,1	0,22	

CR₆₀ = glukoosin poistumisnopeus ensimmäisen 60 minuutin aikana, T_{1/2} = glukoosin puoliintumisaika, AUC = area under curve, käyräalainen pinta-ala pitoisuus-aika-kuvaajassa 120 tai 240 minuutin kuluttua glukoosi-infuusiosta

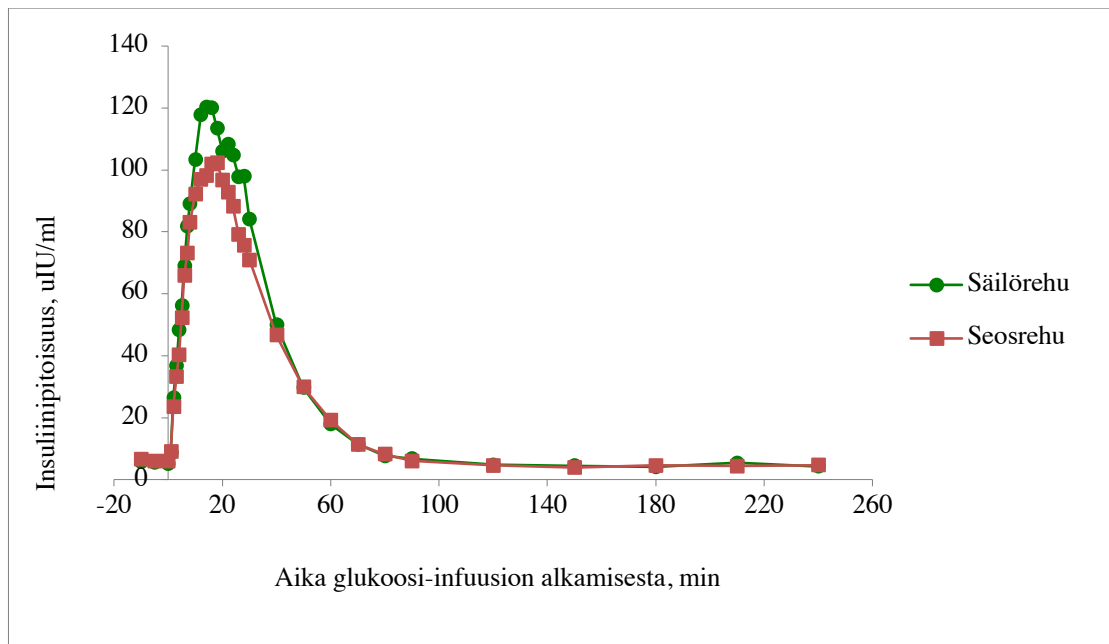
4.4.2 Plasman insuliinipitoisuus glukoosirasituskokeissa

Ennen poikimista tehdyssä glukoosirasituskokeessa plasman insuliinipitoisuus suureni nopeasti glukoosi-infuusion jälkeen (kuva 7). Säilörehuryhmän lehmillä insuliinipitoisuus suureni enemmän kuin seosrehuryhmän lehmillä. Insuliinin huippupitoisuuden saavuttamiseen kului säilörehuryhmän lehmillä 16 – 28 minuuttia ja seosrehuryhmän lehmillä 16 – 24 minuuttia glukoosi-infuusiosta. Huippuvarvonsa saavutettuaan insuliinipitoisuus pieneni ja palautui glukoosi-infuusiota edeltäneelle tasolle kummankin ryhmän lehmillä noin 150 minuutin kuluttua glukoosi-infuusiosta.



Kuva 7. Insuliinipitoisuus glukoosirasituskokeessa 11 päivää ennen odotettua poikimista ummessaolokaudella enemmän energiaa saaneilla (säilörehu) ja vähemmän energiaa saaneilla (seosrehu) lehmillä.

Myös poikimisen jälkeen tehdyssä glukoosirasituskokeessa plasman insuliinipitoisuus suureni hyvin nopeasti glukoosi-infuusion jälkeen (kuva 8). Säilörehuryhmän lehmillä insuliinipitoisuus suureni hieman enemmän kuin seosrehuryhmän lehmillä. Insuliinin huippupitoisuuden saavuttamiseen kului säilörehuryhmän lehmillä 12 – 18 minuuttia ja seosrehuryhmän lehmillä 10 – 22 minuuttia glukoosi-infuusiosta. Kummankin ryhmän lehmillä insuliinipitoisuus pieneni nopeasti huippupitoisuutensa saavutettuaan ja oli palautunut glukoosi-infuusiota edeltäneelle tasolle noin 100 minuutin kuluttua glukoosi-infuusiosta.



Kuva 8. Insuliinipitoisuus glukosirasituskokeessa 8 päivää poikimisen jälkeen ummessaolokaudella enemmän energiaa saaneilla (säilörehu) ja vähemmän energiaa saaneilla (seosrehu) lehmillä.

Insuliinipitoisuuden lähtöarvo ei eronnut säilörehuryhmän ja seosrehuryhmän lehmien välillä ennen poikimista eikä poikimisen jälkeen tehdyssä glukosirasituskokeessa (taulukko 4), mutta molemmissa ryhmissä oli suurta vaihtelua yksilöiden välillä. Poikimiseen jäljellä oleva aika ei vaikuttanut insuliinipitoisuuden lähtöarvoon ennen poikimista. Ennen poikimista glukosirasituskokeen insuliinipitoisuuden huippuarvo oli säilörehuryhmän lehmillä suurempi ($p = 0,02$) kuin seosrehuryhmän lehmillä, mutta poikimisen jälkeen eroa ei ollut. Kummankin ruokintaryhmän insuliinipitoisuuden huippuarvo vaihteli suuresti eri yksilöiden välillä. Insuliinipitoisuuden huippuarvo oli sitä pienempi ($p = 0,007$), mitä lähempänä poikiminen oli. Insuliinin lähtö- ja huippuarvo oli molemmilla ruokintaryhmillä suurempi ennen poikimista kuin poikimisen jälkeen. Insuliinin poistumisnopeus ensimmäisen 60 minuutin aikana (CR_{60}) ei eronnut säilörehuryhmän ja seosrehuryhmän lehmien välillä ennen poikimista eikä poikimisen lähestyminen vaikuttanut insuliinin poistumisnopeuteen.

Insuliinin käyräalainen pinta-ala AUC_{60} oli suurempi ($p = 0,03$) ja AUC_{120} ja AUC_{240} olivat suuntaa-antavasti suurempia ($p = 0,05$) säilörehuryhmän lehmillä kuin seosrehuryhmän lehmillä ennen poikimista. AUC_{60} ja AUC_{240} olivat sitä pienempiä, mitä lähempänä poikiminen oli ($p = 0,01$ ja $p = 0,02$), mutta käyräalaisissa pinta-aloissa oli suurta vaihtelua yksilöiden välillä molemmissa ryhmissä. Poikimisen jälkeen käyräalaisessa pinta-alassa AUC_{240} ei ollut eroa eri ruokintaryhmien välillä. AUC_{60} tulokset eivät olleet normaalijakautuneita, joten p-arvo määritettiin arvojen logaritimuunnoksia käyttäen. Insuliinin käyräalainen pinta-ala AUC oli suurempi ennen poikimista tehdyssä glukosirasituskokeessa kuin poikimisen jälkeen.

Taulukko 4. Glukosirasituskokeiden insuliinimääritysten tulokset 11 päivää ennen odotettua poikimista ja 8 päivää poikimisen jälkeen ummessaolokaudella enemmän energiaa saaneilla (säilörehu) ja vähemmän energiaa saaneilla (seosrehu) lehmillä.

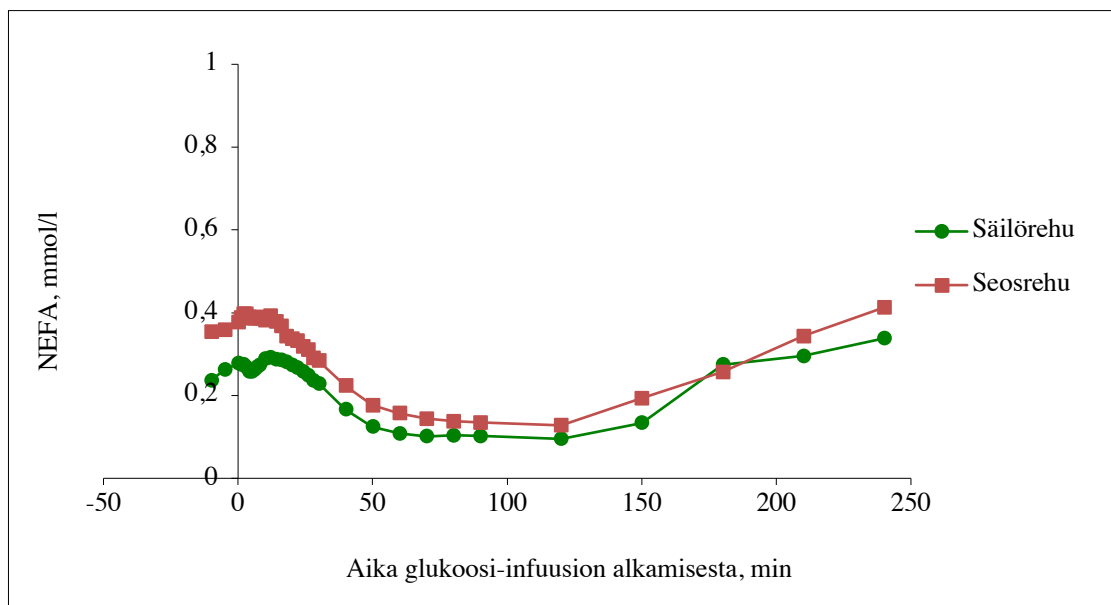
	Säilörehu (n = 8)	Seosrehu (n = 8)	SEM	P ruokinta	P päivää poikimiseen
- 11 d					
Lähtöarvo ($\mu\text{IU/ml}$)	15,7	13,8	2,03	0,52	0,23
Huippuarvo ($\mu\text{IU/ml}$)	398	224	73,3	0,02	0,007
CR_{60} (%/min)	-0,72	-0,62	0,11	0,40	0,20
AUC_{60} (mmol/l x 60 min)	13916	7920	2622,3	0,03	0,01
AUC_{240} (mmol/l x 240 min)	17762	10064	3520,3	0,05	0,02
+ 8 d					
Lähtöarvo ($\mu\text{IU/ml}$)	5,7	6,2	0,75	0,64	
Huippuarvo ($\mu\text{IU/ml}$)	125	110	17,5	0,56	
CR_{60} (%/min)	0,21	0,28	0,13	0,73	
AUC_{60} (mmol/l x 60 min)	3844	3185	535,2	0,55 ¹	
AUC_{240} (mmol/l x 240 min)	3884	3063	560,7	0,30	

CR_{60} = insuliinin poistumisnopeus ensimmäisen 60 minuutin aikana, AUC = area under curve, käyräalainen pinta-ala pitoisuus-aika-kuvaajassa 60 tai 240 minuutin kuluttua glukosii-infusiosta

¹Tilastollinen testaus logaritimuunnoksista

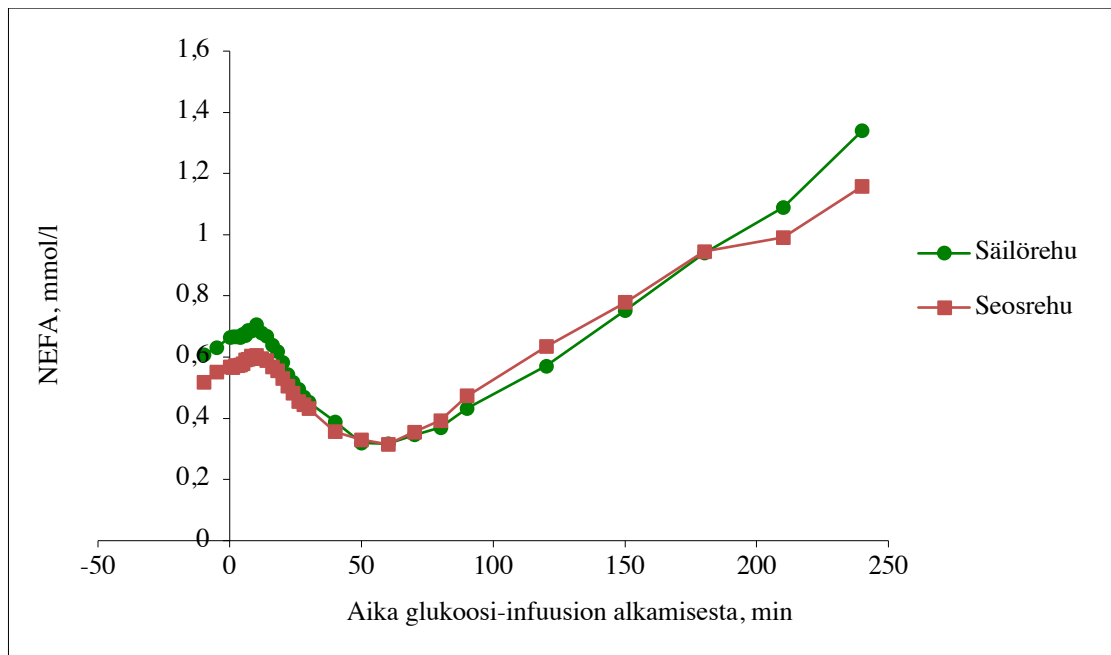
4.4.3 Plasman NEFA-pitoisuus glukoosirasituskokeissa

Ennen poikimista tehdyssä glukoosirasituskokeessa plasman NEFA-pitoisuus suureni hieman jo ennen glukoosi-infuusiota, jonka jälkeen NEFA-pitoisuus jälleen pieneni (kuva 9). NEFA-pitoisuus pysyi molempien ryhmien lehmillä yli tunnin ajan tasaisesti pienenä, mutta alkoi sen jälkeen suurentua asteittain. Seosrehuryhmän lehmillä NEFA-pitoisuus oli koko glukoosirasituskokeen ajan hieman suurempi kuin säilörehuryhmän lehmillä.



Kuva 9. NEFA-pitoisuus glukoosirasituskokeessa 11 päivää ennen odotettua poikimista ummessaolokaudella enemmän energiaa saaneilla (säilörehu) ja vähemmän energiaa saaneilla (seosrehu) lehmillä.

Myös poikimisen jälkeen tehdyssä glukoosirasituskokeessa plasman NEFA-pitoisuus alkoi suurentua jo ennen glukoosi-infuusiota (kuva 10). NEFA-pitoisuus suureni joidenkin minuuttien ajan glukoosi-infuusion jälkeen, mutta pieneni sitten hetkeksi nopeasti ja alkoi taas suurentua hyvin nopeasti minimipitoisuudestaan. NEFA-pitoisuus suureni poikimisen jälkeen rasituskokeen lopussa enemmän ja nopeammin kuin ennen poikimista tehdyssä glukoosirasituskokeessa.



Kuva 10. NEFA-pitoisuus glukoosirasituskokeessa 8 päivää poikimisen jälkeen ummessaolokaudella enemmän energiaa saaneilla (säilörehu) ja vähemmän energiaa saaneilla (seosrehu) lehmillä. NEFA = non-esterified fatty acids, vapaat rasvahapot.

Plasman NEFA-pitoisuudet olivat kummankin ryhmän lehmillä suurempia poikimisen jälkeen tehdyssä rasituskokeessa kuin ennen poikimista (taulukko 5). Plasman NEFA-pitoisuuden lähtöarvoissa ei ollut eroa säilörehuryhmän ja seosrehuryhmän lehmien välillä ennen poikimista eikä poikimisen jälkeen. NEFA-pitoisuuden lähtöarvoissa oli jonkin verran vaihtelua yksilöiden välillä. NEFA-pitoisuuden minimi-arvoissa ei ollut eroa ruokintojen välillä ennen poikimista eikä poikimisen jälkeen. NEFA-pitoisuuden minimiarvo ($p = 0,045$) oli sitä suurempi, mitä lähempänä poikiminen oli. NEFA:n poistumisnopeuksissa ensimmäisen 60 minuutin aikana (CR_{60}) ei ollut eroa ruokintojen välillä ennen poikimista eikä poikimisen jälkeen. Poikimisen lähestyminen ei vaikuttanut NEFA:n poistumisnopeuteen eikä sen käyräalaiseen pinta-alaan. Ruokinta ei vaikuttanut NEFA-pitoisuuden käyräalaiseen pinta-alaan AUC ennen poikimista eikä poikimisen jälkeen tehdyssä glukoosirasituskokeessa.

Taulukko 5. Glukoosirasituskokeiden NEFA-määritysten tulokset 11 päivää ennen odotettua poikimista ja 8 päivää poikimisen jälkeen ummessaolokaudella enemmän energiaa saaneilla (säilörehu) ja vähemmän energiaa saaneilla (seosrehu) lehmillä.

	Säilörehu (n = 8)	Seosrehu (n = 8)	SEM	P ruokinta	P 11 päivää poikimiseen
- 11 d					
Lähtöarvo (mmol/l)	0,24	0,29	0,05	0,12	0,03
Minimi (mmol/l)	0,08	0,10	0,01	0,32	0,045
CR ₆₀ (%/min)	1,25	1,71	0,48	>0,10 ¹	
AUC ₃₀ (mmol/l x 30 min)	0,58	0,72	0,478	0,84	0,99
AUC ₆₀ (mmol/l x 60 min)	-2,28	-2,61	1,100	0,83	0,70
+ 8 d					
Lähtöarvo (mmol/l)	0,62	0,53	0,069	0,27	
Minimi (mmol/l)	0,28	0,29	0,035	0,82	
CR ₆₀ (%/min)	1,43	1,16	0,240	0,45	
AUC ₃₀ (mmol/l x 30 min)	-0,23	0,28	1,024	0,73	
AUC ₆₀ (mmol/l x 60 min)	-7,88	-5,16	2,049	0,38	

NEFA = non-esterified fatty acids eli vapaat rasvahapot, CR₆₀ = NEFA:n poistumisnopeus ensimmäisen 60 minuutin aikana, AUC = area under curve, käyräalainen pinta-ala pitoisuus-aika-kuvaajassa 30 tai 60 minuutin kuluttua glukoosi-infusiosta

¹P-arvo Friedmanin kaksisuuntaisella ei-parametrisellä varianssianalyysillä

4.4.4 Minimal Model -määritykset glukoosirasituskokeissa

Minimal Modelilla glukoosirasituskokeiden tuloksista määritetyssä insuliinin herkkyysindeksissä S_I tai glukoosin herkkyysindeksissä S_G ei ollut tilastollisesti merkitsevää eroa eri ruokintojen välillä ennen poikimista eikä poikimisen jälkeen (taulukko 6). AIR_G oli suurempi ($p = 0,002$) säilörehuryhmän lehmillä verrattuna seosrehuryhmän lehmiin ennen poikimista, mutta poikimisen jälkeen eroa ei ollut. Poikimisen lähestyminen ei vaikuttanut AIR_G-arvoon. Haiman beetasolujen toiminnallisuutta kuvaavassa DI:ssä ei ollut eroa ruokintaryhmien välillä ennen poikimista eikä poikimisen jälkeen. DI oli suurempi ($p = 0,03$) poikimisen lähestyessä.

Taulukko 6. Glukoosirasituskokeiden Minimal model-määritysten tulokset 11 päivää ennen odotettua poikimista ja 8 päivää poikimisen jälkeen ummessaolokaudella enemmän energiaa saaneilla (säilörehu) ja vähemmän energiaa saaneilla (seosrehu) lehmillä.

	Säilörehu (n = 8)	Seosrehu (n = 8)	SEM	P ruokinta	P päivää poikimiseen
- 11 d					
S _I	0,23	0,67	0,313	>0,10 ¹	
S _G	0,03	0,02	0,002	>0,10 ¹	
AIR _G	981	695	155,1	0,002	0,57
DI	241	227	93,9	0,92	0,03
+ 8 d					
S _I	2,28	1,74	0,499	0,40	
S _G	0,03	0,03	0,002	0,53	
AIR _G	512	456	70,5	>0,10 ¹	
DI	1065	825	248,9	0,51	

S_I = insuliinin herkkyysindeksi, S_G = glukoosin herkkyysindeksi, AIR_G = ensivaiheen insuliinivaste, DI = disposition index, haiman beetasolujen toiminnallisuutta kuvaava indeksi

¹P-arvo Friedmanin kaksisuuntaisella ei-parametrisellä varianssianalyysillä

5 TULOSTEN TARKASTELU

5.1 Energiansaanti

Ummessaolokaudella säilörehuryhmän lehmät saivat päivittäin energiaa keskimäärin 35 MJ enemmän kuin seosrehuryhmän lehmät. Säilörehua saaneiden lehmien päivittäinen kuiva-aineen syönti oli keskimäärin 2,2 kg suurempi kuin seosrehua saaneiden lehmien tunnuskauden alkuun saakka. Tämän tutkimuksen lehmien kuiva-aineen syönti ennen poikimista oli hyvin samanlainen kuin aiemmissa tutkimuksissa (Holtenius ym. 2003, Kokkonen ym. 2005, Salin ym. 2012a, Salin ym. 2012b). Lihavat lehmät mobilisoivat rasvakudoksiaan voimakkaammin kuin laihemmat lehmät, minkä seurauksena niiden syönti suurenee poikimisen jälkeen hitaammin (Rukkwamsuk ym. 1999b, Kokkonen ym. 2005). Winkelmanin ym. (2008) tutkimuksessa vapaasti matalaenergistä rehua saaneiden

lehmien kuiva-aineen syönti oli suurempi ja energiatase oli positiivisempi ennen poikimista kuin rajoitetusti runsasenergistä rehua saaneilla lehmillä.

Säilörehuryhmän lehmien elopaino suureni kokeen alusta poikimiseen keskimäärin 75 kg ja seosrehuryhmän lehmien 41 kg. Elopainon suurenemisesta suurin osa selittyi kohdussa olevan sikiön ja sitä ympäröivien nesteiden ja kudosten määrän kasvulla. Säilörehuryhmän lehmien suurempi elopainon suureneminen johtunee osittain myös suuremmasta syönnistä ja energiansaannista. Yliruokinta ummessaolokaudella johtaa rasvan kertymiseen elimistöön, mikä näkyy mm. suurentuneena elopainona (Kunz ym. 1985, Rukkwamsuk ym. 1999b).

Elopainoa parempi lehmän kunnon kuvaaja on kuntoluokka. Kokeen alusta poikimiseen säilörehuryhmän lehmien keskimääräinen kuntoluokka suureni 0,4 yksikköä ja seosrehuryhmän lehmien 0,2 yksikköä. Kuntoluokan suureneminen kuvaa lehmän ihonalaiseen rasvakudokseen kertyneen rasvan määrän suurentuneen ja kuntoluokan pieneneminen ihonalaisen rasvan määrän pienentyneen. Ruokinnan energiapitoisuudella ummessaolokaudella ei ollut tässä kokeessa vaikutusta kuntoluokkaan, mikä on havaittu aiemmissakin tutkimuksissa (Holcomb ym. 2001, Kokkonen ym. 2005, Salin ym. 2012a).

5.2 Selkälihaksen paksuus ja plasman 3-MH-pitoisuus

Selkälihasten paksuuksissa ei ollut eroa ennen poikimista, jolloin myös ero kuntoluokissa ryhmien välillä oli pieni. Kokkonen ym. (2005) tutkimuksessa selkälihas vaikutti olevan paksumpi yli energiatarpeidensa ruokituilla lehmillä ennen poikimista. Lihaksen oheneminen alkoi viikkoa ennen poikimista ja jatkui edelleen poikimisen jälkeen, mikä viittaa aminohappomobilisaation alkaneen jo ennen poikimista (Kokkonen ym. 2005). Aminohappomobilisaatiota kuvaava plasman 3-MH-pitoisuus ennen poikimista oli tässä tutkimuksessa seosrehuryhmän lehmillä suuntaa-antavasti suurempi kuin säilörehuryhmän lehmillä, mikä viittaisi seosrehua saaneiden lehmien suurempaan lihaskudosten mobilisaatioon. Lihavilla lehmillä on suurempi rasvakudoksen mobilisaatio tiineyden viimeisellä viikolla ja tämä saattaa johtua lisääntyneestä adrenergisen stimulaation vasteesta. Myös lihaskudosten mobilisaatio lisääntyy tiineyden

viimeisellä viikolla ja vaikuttaa olevan suurempaa lihavilla lehmillä kuin laihoilla lehmillä (Kokkonen ym. 2005).

Poikimisen jälkeen seosrehuryhmän lehmillä selkälihas oli ohuempi kuin säilörehuryhmän lehmillä, vaikka ero kuntoluokkien välillä ei ollut kovin paljon suurempi kuin ennen poikimista. Selkälihaket olivat molemmilla ryhmillä paksummat ennen poikimista kuin poikimisen jälkeen. Selkälihaksen oheneminen viittaa aminohappojen mobilisaatioon lihaskudoksesta. Kokkonen ym. (2005) tutkimuksessa selkälihas jatkoi ohenemistaan neljän viikon ajan poikimisen jälkeen. Ensimmäisen laktaatiokuukauden aikana ummessaolokaudella yli energiatarpeen ruokittujen lehmien selkälihas oheni enemmän kuin rajoitetusti ruokituilla lehmillä, mikä johtuu suuremmasta lihas- ja rasvakudoksen mobilisaatiosta verrattuna vähemmän energiaa saaneisiin lehmiin (Kokkonen ym. 2005). Tässä kokeessa poikimisen jälkeen aminohappomobilisaatiota kuvaavassa plasman 3-MH pitoisuudessa ei kuitenkaan ollut eroa enemmän tai vähemmän energiaa saaneiden lehmien välillä, kuten ei Kokkonen ym. (2005) tutkimuksessakaan. Seosrehuryhmän lehmien suurempi selkälihasten oheneminen saattoi olla seurausta suuremmasta rasvakudoksen mobilisaatiosta lihaskudosten mobilisaation sijaan tai suuremmasta lihaskudosten mobilisaatiosta jo ennen poikimista. Kokkonen ym. (2005) tutkimuksessa 3-MH-pitoisuus oli neljä viikkoa poikimisen jälkeen pienempi kuin viikkoa ennen poikimista, mikä viittaa aminohappomobilisaation olleen kuukauden kuluttua poikimisesta suurimmaksi osaksi ohi.

5.3 Häntäsuoniverinäytteet

5.3.1 Plasman glukoosipitoisuus

Häntäsuoninäytteiden glukoosipitoisuus pysyi tasaisena kummallakin koeryhmällä poikimiseen saakka ja pieneni heti poikimisen jälkeen, mikä on havaittu aiemmissakin tutkimuksissa (Kunz ym. 1985, Vazquez-Anon ym. 1994, Kokkonen ym. 2005, Janovick ym. 2011). Plasman glukoosipitoisuus oli paljon energiaa rehussa saaneilla lehmillä suuntaa-antavasti suurempi kuin vähemmän energiaa rehussa saaneilla lehmillä ennen poikimista, mikä on havaittu myös aikaisemmissa tutkimuksissa (Rukkwamsuk ym.

1999c, Rabelo ym. 2005). Joissakin tutkimuksissa ero on ollut tilastollisesti merkitsevä (Holtenius ym. 2003, Douglas ym. 2006, Winkelman ym. 2008), mutta toisissa tutkimuksissa energiapitoisuudeltaan erilaisten ruokintojen välillä ei ole havaittu eroa (Kunz ym. 1985, Smith ym. 1997, Salin ym. 2012a). Janovick ym. (2011) ja Law ym. (2011) havaitsivat tutkimuksissaan, että ummessaolokauden ruokinnan energiapitoisuus ei vaikuttanut ensikoiden plasman glukoosipitoisuuteen ennen poikimista, mutta useamman kerran poikineilla suurempi energiapitoisuus suurensi plasman glukoosipitoisuutta. Tämän tutkimuksen lehmät poikivat vähintään toista kertaa.

Janovickin ym. (2011) tutkimuksessa plasman glukoosipitoisuudessa ei ollut eroa ennen poikimista riippumatta siitä, oliko dieetin energiapitoisuutta pienennetty rehun määrää rajoittamalla vai rehun NDF-pitoisuutta suurentamalla (vehnän olkea lisäämällä). Tässä tutkimuksessa seosrehuryhmän lehmät saivat rehua vapaasti, mutta energiapitoisuutta oli pienennetty olkea lisäämällä. Ummessaolokaudella alle suositusten ruokittujen lehmien plasman pienemmän glukoosipitoisuuden seurauksena lehmä pyrkii kompensoimaan energiantarpeensa täyttymistä nopeuttamalla rasvakudosmobilisaatiotaan, mikä ilmenee lehmän kuntoluokan pienenemisenä (Douglas ym. 2006). Tässä tutkimuksessa energiansaantia ei kuitenkaan rajoitettu suosituksia pienemmäksi eikä kuntoluokissakaan ollut eroa ruokintojen välillä.

Tässä tutkimuksessa ruokinnan ja ajan välillä ei ollut yhdysvaikutusta, mutta Holtenius ym. (2003) havaitsivat tutkimuksessaan ruokinnan suuremman energiapitoisuuden suurentavan plasman glukoosipitoisuutta erityisesti poikimisen lähestyessä.

Alkulaktaatiossa plasman glukoosipitoisuus on pieni (Kunz ym. 1985, Hayirli 2006). Pienimmillään glukoosipitoisuus oli tässä tutkimuksessa ensimmäisen laktaatioviikon aikana, minkä jälkeen glukoosipitoisuus alkoi suurentua ja oli saavuttanut lähes poikimista edeltäneen tason kokeen päättyessä. Aiemmissa tutkimuksissa plasman glukoosipitoisuuden on havaittu alkavan suurentua noin kolmanteen laktaatioviikkoon mennessä (Kunz ym. 1985, Vazquez-Anon ym. 1994). Glukoosipitoisuuden suureneminen poikimisen jälkeen on havaittu useissa aiemmissakin tutkimuksissa (Kunz ym. 1985, Vazquez-Anon ym. 1994, Kokkonen ym. 2005, Janovick ym. 2011).

Glukoosipitoisuuden suureneminen poikimisen jälkeen johtuu lehmän rehun syönnin suurenemisesta ja paremmasta energiataseesta.

Winkelmanin ym. (2008) tutkimuksessa runsas energiansaanti ummessaolokaudella johti suurempaan plasman glukoosipitoisuuteen poikimisen jälkeen kuin pienempi energiansaanti ja samansuuntaisia tuloksia saatiin tässäkin tutkimuksessa. Useissa muissa tutkimuksissa ei ole havaittu poikimista edeltäneen dieetin energiapitoisuuden vaikuttavan poikimisen jälkeiseen glukoosipitoisuuteen (Rukkwamsuk ym. 1998, Holcomb ym. 2001, Kokkonen ym. 2005, Salin ym. 2012a). Nielsen ym. (2010) havaitsivat tutkimuksessaan, että ummessaolokaudella enemmän energiaa saaneiden lehmien plasman glukoosipitoisuus oli pienempi poikimisen jälkeen kuin vähemmän energiaa saaneilla lehmillä.

5.3.2 Plasman insuliinipitoisuus

Häntäsuoninäytteiden insuliinipitoisuudet olivat ennen poikimista suurempia kuin poikimisen jälkeen. Insuliinipitoisuus pieneni poikimisen lähestyessä ja suureni poikimisen jälkeisten viikkojen aikana, kuten on aiemmissakin tutkimuksissa todettu (Kunz ym. 1985, Smith ym. 1997, Holtenius ym. 2003). Insuliinipitoisuus alkoi pienentyä nopeasti poikimisen lähestyessä ja pieneni hieman yli 5 μ IU/ml:aan ensimmäisellä laktaatioviikolla rehun energiapitoisuudesta riippumatta. Samansuuruinen insuliinin minimipitoisuus havaittiin myös Holteniuksen ym. (2003) tutkimuksessa. Alkulaktaatiossa plasman pieni insuliinipitoisuus on yleistä (Hayirli 2006).

Ennen poikimista paljon energiaa saaneiden lehmien plasman insuliinipitoisuus oli suurempi kuin vähemmän energiaa saaneiden lehmien, mikä on havaittu useissa tutkimuksissa (Mäntysaari ym. 1999, Holcomb ym. 2001, Holtenius ym. 2003, Salin ym. 2012a). Plasman insuliinipitoisuus pienenee energiansaannin ollessa rajoitettua, mutta palautuu normaalille tasolle ruokinnan palauduttua normaaliksi (Kunz ym. 1985).

Ummessaolokauden dieetin energiapitoisuus ei vaikuttanut poikimisen jälkeiseen plasman insuliinipitoisuuteen, mikä on havaittu muissakin tutkimuksissa (Holcomb ym.

2001, Holtenius ym. 2003, Douglas ym. 2006, Salin ym. 2012a). Mashekin ja Beeden (2001) tutkimuksessa lehmillä, jotka saivat energiarikasta rehua kuuden viikon ajan ennen poikimista, oli suurempi insuliinipitoisuus poikimisen jälkeen kuin lehmillä, jotka saivat samaa rehua kolmen viikon ajan ennen poikimista. Energiarikkaan rehun syöttöaika siis vaikutti insuliinipitoisuuteen poikimisen jälkeen. Poikimisen jälkeinen plasman insuliinipitoisuus korreloi voimakkaasti plasman NEFA-, BHBA- ja glukoosipitoisuuden kanssa (Mäntysaari ym. 1999).

5.3.3 Plasman NEFA-pitoisuus

Häntäsuoninäytteiden NEFA-pitoisuuksissa ennen poikimista ei ollut eroa runsaasti energiaa ja vähemmän energiaa rehussa saaneiden lehmien välillä, mikä on havaittu aiemmissakin tutkimuksissa (Smith ym. 1997, Holtenius ym. 2003, Winkelman ym. 2008, Law ym. 2011). Toisaalta monissa tutkimuksissa rajoitetusti energiaa saaneiden lehmien plasman NEFA-pitoisuus ennen poikimista on ollut suurempi kuin enemmän energiaa saaneilla lehmillä pienemmästä energiansaannista ja pienemmästä plasman insuliinipitoisuudesta johtuen (Kunz ym. 1985, Rabelo ym. 2005, Douglas ym. 2006, Salin ym. 2012a). Myös Nielsenin ym. (2010) tutkimuksessa ummessaolokauden energiansaannin rajoittaminen johti hieman suurempaan NEFA-pitoisuuteen. Rajoitetusti ruokittujen lehmien veren pienempi insuliinipitoisuus vähentää lipolyysin inhibointia, mikä lisää rasvakudosmobilisaatiota ja siten suurentaa veren NEFA-pitoisuutta (Kunz ym. 1985).

Häntäsuoninäytteiden NEFA-pitoisuudet olivat pieniä ennen poikimista ja alkoivat suurentua noin viikkoa ennen poikimista, kuten aiemmissakin tutkimuksissa on havaittu (Rukkwamsuk ym. 1999b, Kokkonen ym. 2005, Douglas ym. 2006, Winkelman ym. 2008). Toisin kuin tässä tutkimuksessa, joissakin tutkimuksissa on havaittu NEFA-pitoisuuden suurenevan vähemmän poikimisen aikaan ummessaolokaudella rajoitetusti energiaa saaneilla lehmillä verrattuna enemmän energiaa saaneisiin lehtiin (Rukkwamsuk ym. 1999b, Murondoti ym. 2004, Douglas ym. 2006). NEFA-pitoisuus alkaa suurentua jo ennen syönnin pienenemistä, mikä viittaa siihen, että kuiva-aineen

syönti ei ole ainoa poikimista edeltävään rasvakudsmobilisaatioon vaikuttava tekijä (Vazquez-Anon ym. 1994).

Poikimisen aikaan ja sen jälkeen plasman NEFA-pitoisuudet olivat kummankin ryhmän lehmillä suurempia kuin ennen poikimista, mikä on tyypillistä alkulaktaatioissa (Murondoti ym. 2004, Douglas ym. 2006, Hayirli 2006). Laktaation alkamisen seurauksena lehmien energiantarve suurenee ja ne mobilisoivat enemmän rasvakudoksiaan, jolloin plasman NEFA-pitoisuus suurenee. Plasman NEFA-pitoisuuden nopea suureneminen poikimisen aikaan voi johtua pienentyneestä kuiva-aineen syönnistä poikimapäivänä (Vazquez-Anon ym. 1994) tai poikimisen alkamisen seurauksena rasvakudsmobilisaation aiheuttavien lipolyyttisten hormonien suurentuneista pitoisuuksista (Vazquez-Anon ym. 1994, Smith ym. 1997). Poikimisen jälkeen NEFA-pitoisuus pieneni ruokinnasta riippumatta vähitellen, mikä on havaittu muissakin tutkimuksissa (Kunz ym. 1985, Smith ym. 1997, Kokkonen ym. 2005, Winkelman ym. 2008). NEFA-pitoisuus oli tässä tutkimuksessa vielä 8 viikkoa poikimisesta lähes kaksinkertainen verrattuna poikimista edeltäneeseen NEFA-pitoisuuteen. Poikimisen jälkeen NEFA-pitoisuuksissa oli enemmän yksilöiden välistä vaihtelua kuin ennen poikimista.

Poikimisen jälkeen plasman NEFA-pitoisuuksissa ei ollut ruokintojen välillä tilastollisesti merkitsevää eroa, mikä on havaittu myös useissa muissa tutkimuksissa (Holcomb ym. 2001, Holtenius ym. 2003, Rabelo ym. 2005, Salin ym. 2012a). Ummessaolokauden suurempi energiansaanti ei siis aiheuttanut merkittäviä muutoksia rasva-aineenvaihdunnassa poikimisen jälkeen, mikä näkyi tässä tutkimuksessa myös kuntoluokkien erojen puuttumisena. Law ym. (2011) havaitsivat saman useamman kerran poikineilla lehmillä, mutta ensikoilla suurempi energiapitoisuus ummessaolokaudella suurensi veren NEFA-pitoisuutta poikimisen jälkeen.

Toisaalta monet tutkimukset ovat osoittaneet, että suurempi energiansaanti ennen poikimista hidastaa kuiva-aineen syönnin suurenemista poikimisen jälkeen ja plasman NEFA-pitoisuus on suurempi neljän ensimmäisen laktaatioviikon aikana verrattuna pienempään energiansaantiin ennen poikimista (Bertics ym. 1992, Kokkonen ym. 2005,

Nielsen ym. 2010, Janovick ym. 2011). Enemmän energiaa ummessaolokaudella saaneet lehmät mobilisoivat kudoksistaan enemmän rasvaa poikimisen lähestyessä ja alkulaktaatiossa, jolloin niiden kuntoluokkakin pienenee enemmän (Kokkonen ym. 2005, Douglas ym. 2006, Janovick ym. 2011). Mashekin ja Beeden (2001) tutkimuksessa lehmillä, jotka saivat energiarikasta rehua kuuden viikon ajan ennen poikimista, oli pienempi NEFA-pitoisuus poikimisen jälkeen kuin lehmillä, jotka saivat samaa rehua kolmen viikon ajan ennen poikimista. Tämä viittaisi siihen, että pidempään jatkunut energiarikas ruokinta ummessaolokaudella suurentaa plasman insuliinipitoisuutta, parantaa lehmän energiatasetta ja vähentää tarvetta mobilisoida rasvaa kudoksista.

5.3.4 Plasman BHBA-pitoisuus

Plasman BHBA-pitoisuuden on havaittu suurenevan poikimisen lähestyessä ruokinnan energiapitoisuudesta riippumatta (Kunz ym. 1985, Vazquez-Anon ym. 1994, Smith ym. 1997, Janovick ym. 2011). BHBA-pitoisuus ja NEFA-pitoisuus ovat huipussaan eri aikaan, BHBA myöhemmin kuin NEFA (Vazquez-Anon ym. 1994, Smith ym. 1997). Veren BHBA-pitoisuudet olivat poikimisen jälkeen suurempia kuin ennen poikimista, mikä on havaittu aiemmissakin tutkimuksissa (Kunz ym. 1985, Vazquez-Anon ym. 1994, Smith ym. 1997).

Plasman BHBA-pitoisuus oli ennen poikimista suurempi säilörehuryhmän lehmillä verrattuna seosrehuryhmän lehtiin ennen poikimista, mutta useissa muissa tutkimuksissa ummessaolokauden ruokinnan energiapitoisuus ei ole vaikuttanut BHBA-pitoisuuteen ennen poikimista (Murondoti ym. 2004, Rabelo ym. 2005, Nielsen ym. 2010, Janovick ym. 2011, Law ym. 2011). Tässä tutkimuksessa säilörehuryhmän lehmien kuiva-aineen syönti oli huomattavasti suurempaa ja säilörehu sisälsi enemmän BHBA:n pääasiallista lähtöainetta eli voihappoa kuin seosrehu, mikä saattaa selittää suurempaa plasman BHBA-pitoisuutta.

Poikimisen jälkeen veren BHBA-pitoisuus oli samansuuruinen energiapitoisuudeltaan erilaisten ruokintojen välillä. Monissa tutkimuksissa ummessaolokaudella enemmän energiaa saaneilla lehmillä oli suurempi BHBA-pitoisuus poikimisen jälkeen kuin

vähemmän energiaa saaneilla, mutta näissä tutkimuksissa myös plasman NEFA-pitoisuus on ollut runsasenergisellä ruokinnalla suurempi (Kunz ym. 1985, Kokkonen ym. 2005, Janovick ym. 2011). Law ym. (2011) havaitsivat ummessaolokauden rehun suuremman energiapitoisuuden lisäävän poikimisen jälkeistä BHBA-pitoisuutta ensikoilla, mutta ei useamman kerran poikineilla. Rabelon ym. (2005) tutkimuksessa ummessaolokaudella paljon energiaa saaneiden lehmien plasman BHBA-pitoisuus oli poikimisen jälkeen pienempi kuin vähemmän energiaa saaneilla lehmillä. Toisen laktatiokuukauden jälkeen BHBA-pitoisuuden on havaittu olevan yhtä suuri sekä rajoitetusti että vapaasti ummessaolokaudella rehua saaneilla lehmillä (Kunz ym. 1985).

5.4 Glukoosirasituskokeet

Plasman glukoosipitoisuus glukoosirasituskokeen aikana riippuu glukoosi-infuusion lisäksi perifeeristen kudosten käyttämästä glukoosista, endogeenisestä glukoosintuotosta, suolistosta imeytyvästä glukoosista ja munuaisten erittämästä glukoosista (Pires ym. 2007). Glukoosipitoisuuden lähtö- tai huippuarvoissa ei ollut eroa energiapitoisuudeltaan erilaisten ruokintojen välillä ennen poikimista eikä poikimisen jälkeen, minkä myös Salin ym. (2012a) tutkimuksessaan havaitsivat. Glukoosi-infuusion jälkeinen glukoosipitoisuuden huippu oli hieman pienempi poikimisen jälkeen, kuten Holteniuksen ym. (2003) tutkimuksessa, mutta Salinin ym. (2012a) tutkimuksessa eroa huippupitoisuuksissa ei ollut. Plasman glukoosipitoisuuden lähtöarvo oli kummankin ryhmän eläimillä suurempi ennen poikimista tehdyssä glukoosirasituskokeessa kuin poikimisen jälkeen tehdyssä kokeessa, kuten häntäsuoninäytteiden glukoosipitoisuuksistakin kävi ilmi.

Enemmän ja vähemmän energiaa saaneiden lehmien välillä ei havaittu eroa glukoosin poistumisnopeudessa glukoosi-infuusion jälkeen ennen poikimista eikä poikimisen jälkeen, minkä myös Salin ym. (2012a) havaitsivat aiemmassa tutkimuksessaan. Holteniuksen ym. (2003) tutkimuksessa ummessaolokaudella energiatarpeiden yli ruokituilla lehmillä oli hitaampi glukoosin poistumisnopeus kolme viikkoa poikimisen jälkeen kuin vähemmän energiaa ennen poikimista saaneilla lehmillä, mikä voi viitata kudosten suurempaan insuliiniresistenssiin. Hitaampi glukoosin poistumisnopeus voi olla

seurausta vähentyneestä insuliinin erityksestä, heikentyneestä kudosten insuliiniherkkyydestä tai -vasteesta, tai näiden yhdistelmästä ja se voi johtaa suurempaan lipolyysiin rasvasoluissa, plasman suurempaan NEFA-pitoisuuteen ja kuntoluokan suurempaan pienenemiseen poikimisen jälkeen (Holtenius ym. 2003). Holteniuksen ym. (2003) tutkimuksessa plasman insuliinipitoisuus oli hyvin samansuuruinen koko glukosirasituskokeen ajan ummessaolokauden ruokinnan energiapitoisuudesta riippumatta, joten erot glukosin poistumisnopeuksissa johtunevat tämän ja Salinin ym. (2012a) tutkimuksia suuremmista eroista ummessaolokauden energiansaannissa ja kuntoluokan muutoksissa. Tässä tutkimuksessa glukosin poistumisnopeudessa oli jonkin verran vaihtelua yksilöiden välillä, mikä saattoi tasoittaa eroja ryhmien välillä otannan ollessa kummassakin ruokintaryhmässä vain 8 yksilöä.

Glukosin käyräanalaiset pinta-alat olivat ennen poikimista tehdyssä glukosirasituskokeessa paljon energiaa rehussa saaneilla lehmillä pienempiä kuin vähemmän energiaa saaneilla lehmillä, mutta Salinin ym. (2012a) tutkimuksessa samaa vaikutusta ei havaittu. Pienempi glukosin AUC viittaa ääreiskudosten suurempaan kykyyn käyttää glukosia. Myös paljon energiaa saaneiden lehmien insuliinin AUC ennen poikimista oli suurempi kuin vähemmän energiaa saaneilla lehmillä, mutta Holteniuksen ym. (2003) tutkimuksessa rehun energiapitoisuudella ei ollut vaikutusta insuliinin AUC-arvoon ennen poikimista eikä sen jälkeen tehdyssä glukosirasituskokeessa. Insuliinin erityksen suurentuessa glukosin infuusion myötä myös glukosin poistumisnopeus suurenee. Tässä tutkimuksessa insuliinin ensivaiheen vastetta glukosille kuvaava AIR_G oli ennen poikimista säilörehuryhmän lehmillä suurempi ja insuliinin herkkyysindeksi S_I numeroarvollisesti hieman pienempi kuin seosrehuryhmällä, mikä viittaa insuliinin suuremman erityksen kompensoivan kudosten heikentynyttä insuliiniherkkyyttä. Poikimisen jälkeen eroa glukosin ja insuliinin käyräanalaisissa pinta-aloissa ei ollut, minkä myös Salin ym. (2012a) havaitsivat tutkimuksessaan. Insuliinin AUC oli suurempi ennen poikimista tehdyssä glukosirasituskokeessa kuin poikimisen jälkeen, mikä on havaittu myös aikaisemmassa tutkimuksessa (Holtenius ym. 2003).

Ummessaolokauden ruokinnan energiapitoisuus ei vaikuttanut tässä eikä Salinin ym. (2012a) tutkimuksessa insuliinipitoisuuden lähtöarvoon ennen poikimista eikä sen jälkeen. Ennen poikimista tehdyn glukoosirasituskokeen insuliinipitoisuuden huippuarvo oli paljon energiaa sisältänyttä rehua saaneilla lehmillä suurempi kuin vähemmän energiaa sisältänyttä rehua saaneilla lehmillä, mutta Holtenius ym. (2003) ja Salin ym. (2012a) eivät havainneet vastaavaa eroa ruokintojen välillä. Insuliinipitoisuuden lähtö- ja huippuarvo olivat suurempia ennen poikimista tehdyssä glukoosirasituskokeessa kuin poikimisen jälkeen, mikä on huomattu aiemmissakin tutkimuksissa todennäköisesti tiineyden aiheuttamasta kudosten insuliiniresistenssistä johtuen (Holtenius ym. 2003, Salin ym. 2012a)

Salinin ym. (2012a) tutkimuksessa vähemmän energiaa saaneiden lehmien plasman NEFA-pitoisuuden lähtöarvo oli ennen poikimista tehdyssä glukoosirasituskokeessa suurempi kuin enemmän energiaa saaneiden, kun taas tässä kokeessa NEFA-pitoisuuksissa ei ollut eroa eri ruokintojen välillä ennen eikä jälkeen poikimisen. NEFA:n käyräanalaisessa pinta-alassa AUC ei ollut eroa ruokintaryhmien välillä, mutta Salinin ym. (2012a) tutkimuksessa rajoitettu ruokinta ummessaolokaudella johti suurempaan NEFA:n käyräanalaisen pinta-alan itseisarvoon ennen poikimista, mikä viittasi lisääntyneeseen rasvakudoksen insuliiniherkkyyteen. Poikimisen jälkeen Salinin ym. (2012a) kokeessa NEFA:n AUC:n itseisarvo oli vapaasti ruokituilla lehmillä suurempi kuin rajoitetusti ruokituilla, mutta tässä kokeessa eroa ruokintojen välillä ei ollut.

Plasman NEFA-pitoisuuden lasku glukoosirasituskokeen aikana (Hayirli 2006, Pires ym. 2007) johtuu suoneen infusoidun glukoosin stimuloimasta haiman insuliinin erityksen lisääntymisestä, mikä johtaa rasvakudoksesta poistuvan NEFA:n pienenemiseen (Pires ym. 2007). NEFA-pitoisuuden suureneminen rasituskokeen loppua kohti johtuu luultavasti insuliinipitoisuuden asteittaisesta pienenemisestä (Pires ym. 2007).

6 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Tämän tutkimuksen perusteella ummessaolokauden ruokinnan muuttaminen kuitupitoisemmaksi ja energiaköyhemmäksi ei vaikuttanut suuresti plasman

parametreihin eikä lehmien kuntoluokkaan. Ummessaolokauden vapaa säilörehuruokinta ei lisännyt rasvavarastojen mobilisaatiota poikimisen jälkeen, kun säilörehu oli sulavuudeltaan enintään keskinkertaista. Tässä tutkimuksessa suurempi energiansaanti näkyi suuremmassa elopainon suurenemisessa, muttei kuntoluokan muutoksessa ennen poikimista. Lihavampien lehmien on todettu mobilisoivan enemmän rasvakudoksiaan poikimisen aikaan ja alkulaktaatiossa verrattuna normaalikuntoisiin ja laihempiin lehtiin, vaikka tämän tutkimuksen tulokset eivät tätä kuntoluokan osalta todistaneetkaan. Suositeltavaa on kuitenkin pyrkiä välttämään lehmien liiallista lihomista ummessaolokaudella.

Plasman insuliinipitoisuus ennen poikimista oli suurempi paljon energiaa saaneilla lehmillä, mikä on havaittu aikaisemmissakin tutkimuksissa. Runsaammin energiaa saaneet lehmät saattavat tämän kokeen tulosten perusteella kompensoida kudostensa insuliiniherkkyyden vähenemistä insuliinin eritystä lisäämällä. Rehun kuitupitoisuuden lisääminen esimerkiksi tekemällä seosrehua säilörehusta ja oljesta vaikuttaa olevan toimiva vaihtoehto pienentää ummessaolevan lehmän energiansaantia liian lihomisen välttämiseksi.

Lähteet

- Beever, D. E. 2006. The impact of controlled nutrition during the dry period on dairy cow health, fertility and performance. *Animal Reproduction Science* 96: 212-226.
- Bell, A. W. 1995. Regulation of organic nutrient metabolism during transition from late pregnancy to early lactation. *Journal of Animal Science* 73: 2804-2819.
- Bell, A. W & Bauman, D. E. 1997. Adaptations of glucose metabolism during pregnancy and lactation. *Journal of Mammary Gland Biology and Neoplasia* 2: 265-278.
- Bergman, R. N. 2005. Minimal model: Perspective from 2005. *Hormone Research* 64: 8-15.
- Bertics, S. J., Grummer, R. R., Cadorniga-Valino, C. & Stoddard, E. E. 1992. Effect of prepartum dry matter intake on liver triglyceride concentration and early lactation. *Journal of Dairy Science* 75: 1914-1922.
- Boden, G. 2011. Obesity, insulin resistance and free fatty acids. *Current Opinion in Endocrinology, Diabetes & Obesity* 18: 139-143.
- Butler, W. R. 2003. Energy balance relationships with follicular development, ovulation and fertility in postpartum dairy cows. *Livestock Production Science* 83: 211-218.
- Chagas, L. M., Lucy, M. C., Back, P. J., Blache, D., Lee, J. M., Gore, J. S., Sheahan, A. J. & Roche, J. R. 2009. Insulin resistance in divergent strains of Holstein-Friesian dairy cows offered fresh pasture and increasing amounts of concentrate in early lactation. *Journal of Dairy Science* 92: 216-222.
- Dann, H. M., Litherland, N. B., Underwood, J. P. Bionaz, M., D'Angelo, A., McFadden, J. W. & Drackley, J. K. 2006. Diets during far-off and close up dry periods affect periparturient metabolism and lactation in multiparous cows. *Journal of Dairy Science* 89: 3563-3577.
- Douglas, G. N., Overton, T. R., Bateman II, H. G., Dann, H. M. & Drackley, J. K. 2006. Prepartal plane of nutrition, regardless of dietary energy source, affects periparturient metabolism and dry matter intake in Holstein cows. *Journal of Dairy Science* 2141-2157.

- Friggens, N. C., Ingvarlsen, K. L. & Emmans, G. C. 2004. Prediction of body lipid change in pregnancy and lactation. *Journal of Dairy Science* 87: 988-1000.
- Grummer, R. R. 1993. Etiology of lipid-related metabolic disorders in periparturient dairy cows. *Journal of Dairy Science* 76: 3882-3896.
- Grummer, R. R. 1995. Impact of changes in organic nutrient metabolism on feeding the transition dairy cow. *Journal of Animal Science* 73: 2820-2833.
- Hayirli, A. 2006. The role of exogenous insulin in the complex of hepatic lipidosis and ketosis associated with insulin resistance phenomenon in postpartum dairy cattle. *Veterinary Research Communications* 30: 749-774.
- Hayirli, A., Grummer, R. R., Nordheim, E. V. & Crump, P. M. 2002. Animal and dietary factors affecting feed intake during the prefresh transition period in Holsteins. *Journal of Dairy Science* 85: 3430-3443.
- Holcomb, C. S., Van Horn, H. H., Head, H. H., Hall, M. B. & Wilcox, C. J. 2001. Effects of prepartum dry matter intake and forage percentage on postpartum performance of lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science* 84: 2051-2058.
- Holtenius, K., Agenäs, S., Delavaud, C. & Chilliard, Y. 2003. Effects of feeding intensity during the dry period. 2. Metabolic and hormonal responses. *Journal of Dairy Science* 86: 883-891.
- Ingvarlsen, K. L. & Andersen, J. B. 2000. Integration of metabolism and intake regulation: A review focusing on periparturient animals. *Journal of Dairy Science* 83: 1573-1597.
- Janovick, N. A., Boisclair, Y. R. & Drackley, J. K. 2011. Prepartum dietary energy intake affects metabolism and health during the periparturient period in primiparous and multiparous Holstein cows. *Journal of Dairy Science* 94: 1385-1400.
- Janovick, N. A. & Drackley, J. K. 2010. Prepartum dietary management of energy intake affects postpartum intake and lactation performance by primiparous and multiparous Holstein cows. *Journal of Dairy Science* 93: 3086-3102.
- Kokkonen, T., Mäntysaari, P. & Huhtanen, P. 2010. Lypsylehmän energiataseen mallintaminen. Maataloustieteen päivät 2010.
<http://www.smts.fi/jul2010/esite2010/015.pdf> Viitattu 20.10.2013.
- Kokkonen, T., Taponen, J., Anttila, T., Syrjälä-Qvist, L., Delavaud, C., Chilliard, Y., Tuori, M. & Tesfa, A.T. 2005. Effect of body fatness and glucogenic supplement

- on lipid and protein mobilization and plasma leptin in dairy cows. *Journal of Dairy Science* 88: 1127-1141.
- Kunz, P. L., Blum, J. W., Hart, I. C., Bickel, H. & Landis, J. 1985. Effects of different energy intakes before and after calving on food intake, performance and blood hormones and metabolites in dairy cows. *Animal Production* 40: 219-231.
- Law, R. A., Young, F. J., Patterson, D. C., Kilpatrick, D. J., Wylie, A. R. G., Ingvarsten, K. L., Hameleers, A., McCoy, M. A., Mayne, C. S. & Ferris, C. P. 2011. Effect of precalving and postcalving dietary energy level on performance and blood metabolite concentrations of dairy cows throughout lactation. *Journal of Dairy Science* 94: 808-823.
- Melendez, P., Marin, M. P., Robles, J., Rios, C., Duchens, M. & Archbald, L. 2009. Relationship between serum nonesterified fatty acids at calving and the incidence of periparturient diseases in Holstein dairy cows. *Theriogenology* 72: 826-833.
- Murondoti, A., Jorritsma, R., Beynen, A. C., Wensing, T. & Geelen, M. J. H. 2004. Unrestricted feed intake during the dry period impairs the postpartum oxidation and synthesis of fatty acids in the liver of dairy cows. *Journal of Dairy Science* 87: 672-679.
- Mäntysaari, P., Ingvarsten, K. L. & Toivonen, V. 1999. Feeding intensity of pregnant heifers. Effect of feeding intensity during gestation on performance and plasma parameters of primiparous Ayrshire cows. *Livestock Production Science* 62: 29-41.
- Nielsen, N. I., Hameleers, A., Young, F. J., Larsen, T. & Friggens, N. C. 2010. Energy intake in late gestation affects blood metabolites in early lactation independently of milk production in dairy cows. *Animal* 4: 52-60.
- Pires, J. A. A., Souza, A. H. & Grummer, R. R. 2007. Induction of hyperlipidemia by intravenous infusion of tallow emulsion causes insulin resistance in Holstein cows. *Journal of Dairy Science* 90: 2735-2744.
- Pittas, A. G., Joseph, N. A. & Greenberg, A. S. 2004. Adipocytokines and insulin resistance. *Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism* 89: 447-452.
- Rabelo, E., Rezende, R. L., Bertics, S. J. & Grummer, R. R. 2005. Effects of pre- and postfresh transition diets varying in dietary energy density on metabolic status of periparturient dairy cows. *Journal of Dairy Science* 88: 4375-4383.

- Rukkwamsuk, T., Kruip, T. A. M. & Wensing, T. 1999a. Relationship between overfeeding and overconditioning in the dry period and the problems of high producing dairy cows during the postparturient period. *Veterinary Quarterly* 21: 71-77.
- Rukkwamsuk, T., Wensing, T. & Geelen, M. J. H. 1998. Effect of overfeeding during the dry period on regulation of adipose tissue metabolism in dairy cows during the periparturient period. *Journal of Dairy Science* 81: 2904-2911.
- Rukkwamsuk, T., Wensing, T. & Geelen, M. J. H. 1999b. Effect of fatty liver on hepatic gluconeogenesis in periparturient dairy cows. *Journal of Dairy Science* 82: 500-505.
- Rukkwamsuk, T., Wensing, T. & Geelen, M. J. H. 1999c. Effect of overfeeding during the dry period on the rate of esterification in adipose tissue of dairy cows during the periparturient period. *Journal of Dairy Science* 82: 1164-1169.
- Salin, S., Elo, K., Pursiainen, P., Taponen, J., Vanhatalo, A. & Kokkonen, T. 2012a. Ummessaolokauden energiansaannin vaikutus lypsylehmien aineenvaihdunnan säätelyyn, syöntiin ja maitotuotokseen. *Maataloustieteen päivät 2012*.
http://www.smts.fi/Ravitsemus_ja_terveys/Salin_Ummessaolokauden.pdf. Viitattu 21.5.2013.
- Salin, S., Taponen, J., Elo, K., Simpura, I., Vanhatalo, A., Boston, R. & Kokkonen, T. 2012b. Effect of abomasal infusion of tallow or camelina oil on responses to glucose and insulin in dairy cows during late pregnancy. *Journal of Dairy Science* 95: 3812-3825.
- Shiang, K.-H. 2004. The SAS® calculations of areas under the curve (AUC) for multiple metabolic readings. Western users of SAS Software presentation, Pasadena 15.10.2004.
http://www.lexjansen.com/wuss/2004/posters/c_post_the_sas_calculations_.pdf. Viitattu 21.5.2013.
- Smith, T. R., Hippen, A. R., Beitz, D. C. & Young, J. W. 1997. Metabolic characteristics of induced ketosis in normal and obese dairy cows. *Journal of Dairy Science* 80: 1569-1581.
- VandeHaar, M. J., Yousif, G., Sharma, B. K., Herdt, T. H., Emery, R. S., Allen, M. S. & Liesman, J. S. 1999. Effect of energy and protein density of prepartum diets on

- fat and protein metabolism of dairy cattle in the periparturient period. *Journal of Dairy Science* 82: 1282-1295.
- Vazquez-Anon, M., Bertics, S. & Grummer, R. R. 1994. Peripartum liver triglyceride and plasma metabolites in dairy cows. *Journal of Dairy Science* 77: 1521-1528.
- Winkelman, L. A., Elsasser, T. H. & Reynolds, C. K. 2008. Limit-feeding a high-energy diet to meet energy requirements in the dry period alters plasma metabolite concentrations but does not affect intake or milk production in early lactation. *Journal of Dairy Science* 91: 1067-1079.